



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

AKUMULACE ENERGIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ

ACCUMULATION OF ENERGY FROM RENEWABLE SOURCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marie Charvátová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Bc.Ing. Jan Fišer, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Marie Charvátová**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Bc. Ing. Jan Fišer, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Akumulace energie z obnovitelných zdrojů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Využití energie obnovitelných zdrojů a především pak fotovoltaických panelů jako zdroje elektrické energie je v posledních letech stále častějším jevem. Díky poklesu cen panelů i ostatních komponent je využitelnost instalací s PV panely stále reálnější. Otázkou však stále zůstává možnost efektivního skladování elektrické energie s ohledem na vyzrálост a finanční náročnost dostupných akumulačních technologií.

Cíle bakalářské práce:

Studie možností akumulace energie získané z obnovitelných zdrojů v "domácím/malém" měřítku s bližším zaměřením na akumulaci elektrické energie. Rešerše dostupných komerčních řešení. A dále zpracování provozních dat z malé demonstrační fotovoltaické elektrárny s akumulací elektrické energie v LiFePO₄ akumulátorech.

Seznam doporučené literatury:

Náklady na akumulaci elektřiny v sekundárních člancích. Tzb-info [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2013 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/10362-naklady-na-akumulaci-elektřiny-v-sekundarnich-clancich>

Akumulace elektřiny, Tzb-info [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2011 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektřiny>

Akumulace elektřiny – srovnání výrobků, Ekologické bydlení [online]. Stará Boleslav: Ekologické bydlení, 2015 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: <http://www.ekobydleni.eu/energie/akumulace-elektřiny-srovnani-vyrobků>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 3. 11. 2016





doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou akumulace energie získané z obnovitelných zdrojů s bližším zaměřením na uchovávání elektrické energie v „malém/domácím“ měřítku. Dodávka energie získané z obnovitelných zdrojů je značně proměnlivá a vzhledem k pokrytí časového posunu mezi výrobou a spotřebou je tedy nutné energii uchovávat. V práci jsou popsány jednotlivé druhy energií využívané v rezidenčním bydlení, uvedeny zdroje obnovitelné energie a následně rozebrány různé způsoby akumulace energie. Největší pozornost je věnována chemickým akumulátorům, neboť jsou vzhledem ke své praktičnosti nejvhodnějším řešením pro domácí využití. V závěru práce jsou zpracována a zhodnocena provozní data z malé demonstrační fotovoltaické elektrárny s akumulací elektrické energie v chemických akumulátorech.

Abstract

This bachelor's thesis deals with the issue of accumulation of energy from renewable sources with a closer focus on electricity storage in the "small/home" scale. Delivering energy from renewable sources is highly variable and, in order to cover the time shift between production and consumption, energy must be stored. In the paper are described individual types of energy used in residential housing, sources of renewable energy are presented and various ways of energy accumulation are analyzed. The greatest attention is paid to chemical accumulators, because they are the most suitable solution for home use due to their practicality. At the end of the thesis, operational data from a small demonstration photovoltaic power plant with accumulation of electric energy in chemical accumulators are processed and evaluated.

Klíčová slova

Akumulace energie, Akumulátor, Obnovitelné zdroje energie, Fotovoltaická elektrárna, Elektrická energie

Keywords

Energy accumulation, Accumulator, Renewable sources of energy, Photovoltaic power station, Electrical energy

Bibliografická citace

CHARVÁTOVÁ, M. *Akumulace energie z obnovitelných zdrojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Bc. Jan Fišer, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Akumulace energie z obnovitelných zdrojů* vypracovala samostatně pod vedením Ing. Bc. Jana Fišera, Ph.D. Veškeré použité zdroje informací, obrázků a dat jsem uvedla v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 25. května 2017

.....
Marie Charvátová

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Bc. Janu Fišerovi, Ph.D. za cenné rady, informace, připomínky a čas věnovaný odborným konzultacím. Zároveň bych chtěla poděkovat své rodině za trpělivost a podporu během celé doby mého studia.

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	DRUHY ENERGIÍ VYUŽÍVANÉ V MALÉM MĚŘÍTKU / REZIDENČNÍM BYDLENÍ	17
2.1	Tepelná energie	17
2.2	Elektrická energie.....	18
2.2.1	<i>Osvětlení</i>	<i>19</i>
2.2.2	<i>Služby.....</i>	<i>19</i>
2.2.3	<i>Datové služby.....</i>	<i>20</i>
3	ZDROJE OBNOVITELNÉ ENERGIE VYUŽITELNÉ V MALÉM MĚŘÍTKU ...	21
3.1	Solární energie.....	21
3.1.1	<i>Pasivní solární systémy.....</i>	<i>21</i>
3.1.2	<i>Aktivní solární systémy</i>	<i>22</i>
3.2	Biomasa	23
3.2.1	<i>Způsoby využití biomasy k tepelným účelům</i>	<i>24</i>
3.3	Nízkoteplotní zdroje tepla	25
3.4	Ostatní zdroje – Vítr, Voda	26
3.4.1	<i>Vítr</i>	<i>26</i>
3.4.2	<i>Voda.....</i>	<i>27</i>
3.5	Shrnutí kapitoly 2 a 3 – kritické zhodnocení.....	27
4	MOŽNOSTI AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	29
4.1	Základní principy akumulace	29
4.1.1	<i>Přečerpávací vodní elektrárny (PVE)</i>	<i>29</i>
4.1.2	<i>Akumulace energie založená na stlačeném vzduchu (CAES systémy).....</i>	<i>30</i>
4.1.3	<i>Setrvačníky (mechanické akumulátory).....</i>	<i>31</i>
4.1.4	<i>Chemické akumulátory</i>	<i>31</i>
4.1.5	<i>Průtokové baterie.....</i>	<i>32</i>
4.1.6	<i>Vodíkové hospodářství a palivové články.....</i>	<i>32</i>
4.1.7	<i>Superkondenzátory</i>	<i>33</i>
4.1.8	<i>Supravodivé indukční akumulátory</i>	<i>34</i>
4.2	Chemické akumulátory.....	34
4.2.1	<i>Olověné akumulátory.....</i>	<i>35</i>
4.2.2	<i>Alkalické akumulátory</i>	<i>35</i>
4.2.3	<i>Lithiové akumulátory.....</i>	<i>36</i>
4.3	Dosputná řešení na trhu	39

5	ANALÝZA FUKNCE MALÉ OSTROVNÍ ELEKTRÁNY S AKUMULACÍ.....	41
5.1	Popis elektrárny	41
5.2	Provozní data a jejich analýza.....	42
5.3	Shrnutí výsledků	44
6	ZÁVĚR.....	47
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	49
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	55

1 ÚVOD

Spotřeba energie od počátku průmyslové revoluce prakticky neustále roste. [1] Důvod tohoto růstu lze spatřovat především v technickém rozvoji společnosti, ve zvyšující se životní úrovni a růstu počtu obyvatel. Většina využívané energie se dnes získává z neobnovitelných energetických surovin, jejichž těžba, zpracování a využití vede k významné zátěži životního prostředí.

Jednou z nejdůležitějších forem energie, která se využívá v technicky rozvinutých společnostech dneška, je energie elektrická. Většina elektrické energie se v současnosti získává v tepelných elektrárnách, ale vzhledem k tomu, že zásoby fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn) jsou omezené, začíná se v souvislosti s tzv. trvale udržitelným rozvojem stále více přecházet k alternativním zdrojům energie (sluneční záření, vítr, pohyb a poloha vody, biomasa atd.). Při jejich vhodném využití zpravidla způsobují menší zátěž životního prostředí a produkují menší množství znečišťujících látek než klasické zdroje.

Obnovitelné zdroje jsou však spjaty s klimatickými podmínkami a mají tak intermitentní charakter dodávky. Intenzita dopadající sluneční energie je závislá na denní době, počasí i ročním období. Energii vody a větru pak spíše ovlivňuje počasí v jednotlivých částech roku a růst biomasy především průběh počasí ve vegetační sezóně. Výkon elektráren může být tedy velmi kolísavý a vyvstává otázka, jak nejlépe elektrickou energii v případě přebytku uchovávat pro pozdější využití v době, kdy jí bude nedostatek, popřípadě bude zvýšená poptávka. Spotřeba elektrické energie totiž není v průběhu dne konstantní, ale závisí na denním rytmu společnosti. Nejnižší odběr je mezi půlnocí a 6. hodinou (většina lidí spí, průmysl je v útlumu), nejvyšší pak ráno, v poledne a večer. [2] Právě k vykrývání těchto energetických špiček se v současné době v ČR využívají přečerpávací vodní elektrárny (Dlouhé Stráně, Štěchovice II či Dalešice [3]), které představují akumulaci kapacity v průmyslovém měřítku.

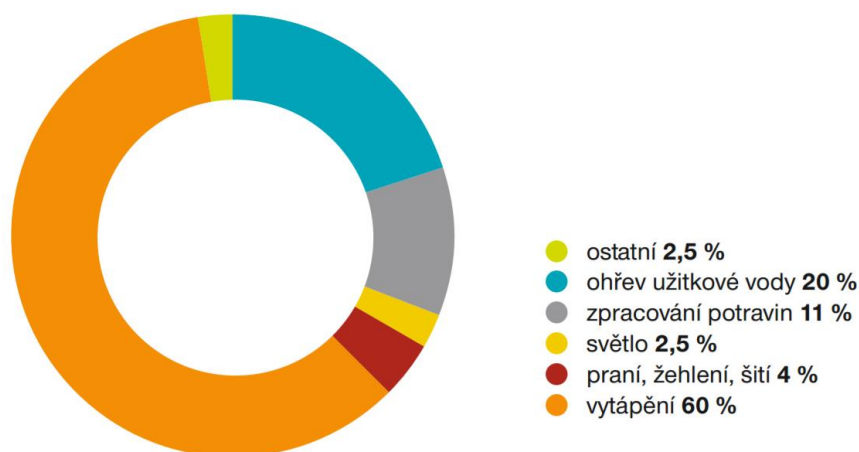
S rozvojem obnovitelných zdrojů, především fotovoltaiky, se však začíná stále více rozvíjet využití akumulace elektřiny i v malém/lokálním měřítku na úrovni budovy či malých areálů. [4] Právě na toto téma se blíže zaměřuje předkládaná bakalářská práce, jejímž hlavním cílem je shrnout současné technologické možnosti akumulace energie z obnovitelných zdrojů v „malém/domácím“ měřítku a posoudit jejich provozní vlastnosti na příkladu vyhodnocení provozu malé demonstrační FV elektrárny s akumulací využívající chemických akumulátorů.

[5, 6, 7, 8]

2 DRUHY ENERGIÍ VYUŽÍVANÉ V MALÉM MĚŘÍTKU / REZIDENČNÍM BYDLENÍ

Bez neustálého přísunu energie by žádný živý organizmus nemohl existovat. Člověk je však jediným tvorem, který se ji v průběhu staletí naučil různými způsoby nejen vyrábět, ale i přenášet, uchovávat a přeměňovat ke svým potřebám, práci i požitku. [9]

V domácnostech využíváme především dva druhy energií: tepelnou pro vytápění a chlazení a elektrickou. Po průmyslové výrobě a dopravě jsou domácnosti třetím největším odběratelem energie. [10] V hospodářsky rozvinutých zemích se v domácnostech spotřebuje 30 až 40 % veškeré vyrobené energie, přičemž více než polovina spotřeby připadá na vytápění. [11]



Obr. 2.1 Průměrné rozdělení spotřeby energie v domácnostech ČR [11]

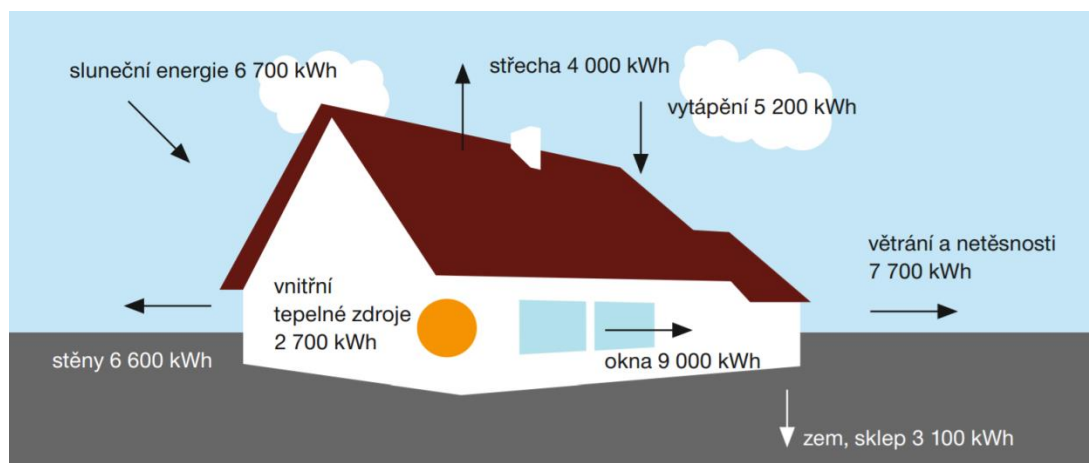
2.1 Tepelná energie

Člověk je schopen efektivně žít, pracovat a tvořit jen v určitém rozsahu teplot okolního prostředí, které jsou dány fyziologií a termoregulačními mechanismy jeho těla. V takovém prostředí je pak možné dosáhnout tzv. tepelné pohody, což je stav, který člověk subjektivně vnímá jako spokojenost s tepelným stavem okolního prostředí. K dosažení tepelné pohody je nutné zajištění tepelné rovnováhy mezi lidským tělem a jeho okolím. Aby tomu tak bylo, musí být parametry prostředí jako teplota vzduchu, střední radiační teplota, rychlost proudění vzduchu a vlhkost vzduchu v optimálním poměru. K těmto parametrům prostředí ještě dále přistupují parametry osobní, a to sice vykonávaná aktivita a tepelný odpor oděvu, který má člověk v daném prostředí na sobě. Působení prostředí a výsledná tepelná pohoda je tedy velice složitý proces, který je závislý na celé řadě parametrů a jejich kombinací. Mezi jeden z nejdůležitějších parametrů patří bezesporu teplota okolí. Vhodné teploty okolního prostředí mají tedy svůj horní a dolní limit, který však není v našich klimatických podmínkách v průběhu roku vždy dodržen. [5]

V chladnější části roku (zhruba od října do dubna) jsou teploty vnějšího prostředí pod dolním limitem vhodným pro člověka a obytné prostory je tedy pro získání tepelné pohody nutné vytápět (aktivně dodávat teplo a krýt tak tepelnou ztrátu objektu do okolního prostředí), ať už elektřinou, dálkovým teplem nebo palivy různého skupenství (viz obr. 2.2). [5, 12]

Oproti tomu teploty okolního vzduchu v letních měsících přesahují horní limit a významnou tepelnou zátěží obytných prostor se stává i sluneční záření, které je velkým zdrojem tepla. Pro zajištění vhodného prostředí je tedy potřeba obydlí chladit (aktivně odvádět

teplo) různými typy klimatizačních zařízení. Zde se dá s výhodou využít faktu, že největší požadavek na chlazení je v horkých slunných dnech, a proto lze jako zdroj energie využít fotovoltaické panely (u kompresorových klimatizačních zařízení), či teplo získané ve fototermických panelech v případě užití absorpčního chlazení. [5, 12]

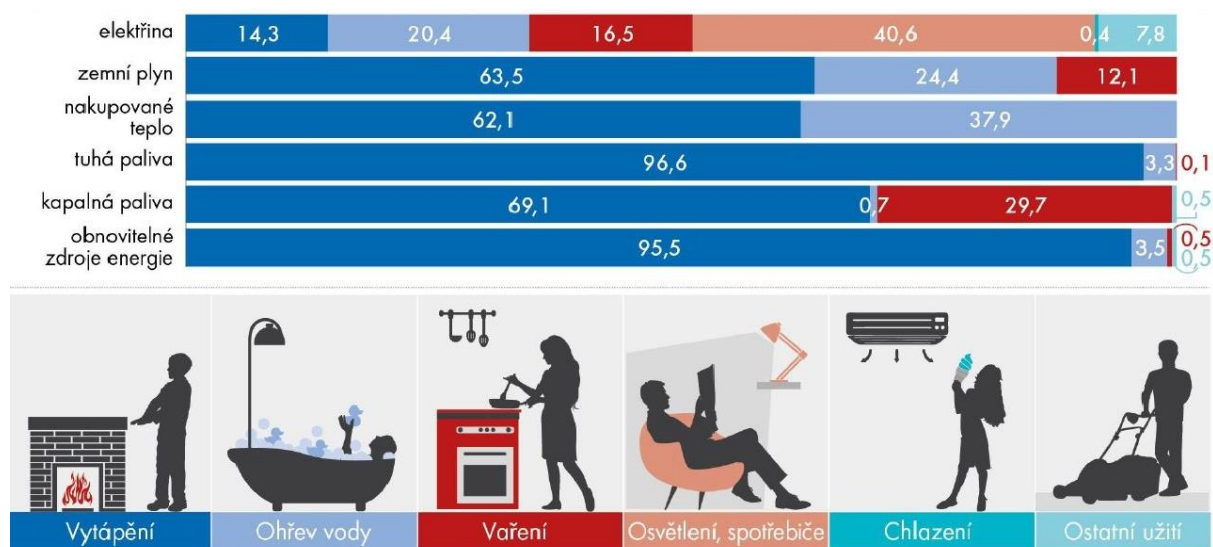


Obr. 2.2 Energetická bilance rodinného domu [11]

2.2 Elektrická energie

Život bez elektrické energie je pro většinu z nás nepředstavitelný a s jejím užitím se setkáváme téměř na každém kroku. V domácnostech je využívána pro osvětlení, ohřev teplé vody, přípravu a uchování potravin, funkci spotřebičů, elektroniky apod.

Elektrická energie je díky své povaze jedním z nejuniverzálněji využitelných druhů energie, což je patrné i z obr. 2.3. Lze ji relativně snadno transformovat na jiné druhy energie, např. mechanickou energii (prostřednictvím elektromotoru), tepelnou energii (topná zařízení), výrobu chladu (klimatizační zařízení, lednička), a má svou zcela nezastupitelnou roli v oblasti pořizování, přenosu, zpracování a uchovávání dat (obraz, zvuk, hudba, text atd.).



Obr. 2.3 Struktura spotřeby paliv a energií domácností podle účelu užití v roce 2015 (v %), (ČSÚ)[13]

2.2.1 Osvětlení

Člověk přijímá až 80 % všech informací z okolí pomocí zraku. Tato informace/vjem je zprostředkována pomocí fotonů viditelného světla, které se odrážejí od okolí člověka a po dopadu na sítnici oka jsou převedeny na signály, které dále vyhodnocuje a interpretuje mozek. [14, 15]

Z výše popsaného je tedy patrné, že pro většinu lidských činností je zcela nezbytné dostatečné osvětlení okolí. Zvláště v zimním období, kdy jsou dny krátké (i méně než 8 h [16]) a soumrak nastává velmi brzy, je množství přirozeného denního osvětlení nedostatečné a již naši předci používali umělé zdroje světla, aby se mohli orientovat či pracovat i za tmy. [17] Je nutné také podotknout, že existují místa a prostory, kde není možné zajistit přirozené osvětlení (např. podzemní prostory, prostory v budovách bez oken, prostory s vysokým nárokem na čistotu a hygienu – např. chirurgické sály, výroba léků, elektronických součástek atd.), a pro orientaci a pobyt člověka v nich je tak nezbytné využít umělých zdrojů světla. Postupem času se zdroje světla obměňovaly a modernizovaly od svíček, přes petrolejové lampy a žárovky, až k dnešním úsporným zářivkám, xenonům a LED diodám. [18] Dnes tedy zcela dominují technologie, které generují světlo na základě přeměny elektrické energie a v této oblasti má elektřina zcela nezastupitelnou roli. [19]

V oblasti rezidenčních budov je tedy osvětlení zcela nezbytné pro běžnou lidskou činnost bez omezení ve večerních a nočních hodinách. Dále také pro celodenní orientaci a práci v místech, kde nelze zajistit přirozené osvětlení, jako jsou: suterénní prostory, sklepy, garáže apod., či další prostory bez oken (např. chodby, koupelny, výtahy).

2.2.2 Služby

Ve své podstatě nepotřebujeme energii jako takovou, nýbrž požadujeme služby, které nám elektrická energie poskytuje. [20] Jak již bylo uvedeno v úvodu této podkapitoly, elektrickou energii lze na rozdíl od ostatních druhů energií nejsnáze transformovat a v oblasti služeb hraje tedy primární roli.

Elektrickou energii transformovanou na energii tepelnou nespotřebováváme pouze k vytápění a chlazení prostor (viz kap. 2.1), ale používáme ji i k ohřevu teplé vody a nezbytným pomocníkem je též při přípravě a uchovávání pokrmů. Kromě sporáků, z nichž nejúspornější jsou dnes indukční a sklokeramické desky, najdeme při přípravě potravin i řadu dalších spotřebičů využívajících tepelnou energii (pečicí trouby, rychlovarné konvice, toustovače apod.). Elektrickou energii přeměněnou na teplo užíváme též např. při žehlení prádla, či úpravě vlasů (kulmy). Naopak při uchovávání potravin je nutná „výroba“ chladu, a právě ledničky a mrazničky, které musí být v provozu 24 hodin denně, spotřebovávají z domácích elektrických spotřebičů nejvíce energie. [12]

Nejen v průmyslu a dopravě, ale i v domácnostech se využívá pro pohon některých strojů transformace elektrické energie na mechanickou. Jako příklad lze uvést drobné a zahradní nářadí (vrtačky, sekačky), kuchyňské spotřebiče (mixéry), vysavače, šicí stroje, atd. Elektrickou energii přeměněnou na mechanickou práci spotřebováváme též při čerpání vody (např. ze studny), či při řízeném (nuceném) větrání obytných prostor.

Elektrická energie nám obecně umožňuje služby, jež nelze v dané kombinaci žádnou jinou energií ani technologií uspokojit. Jako příklad lze uvést fén, který pohání i ohřívá vzduch, aby zrychlil sušení vlasů, či pračku a sušičku prádla nebo myčku nádobí, které ke své funkci také současně využívají tepelnou i mechanickou energii.

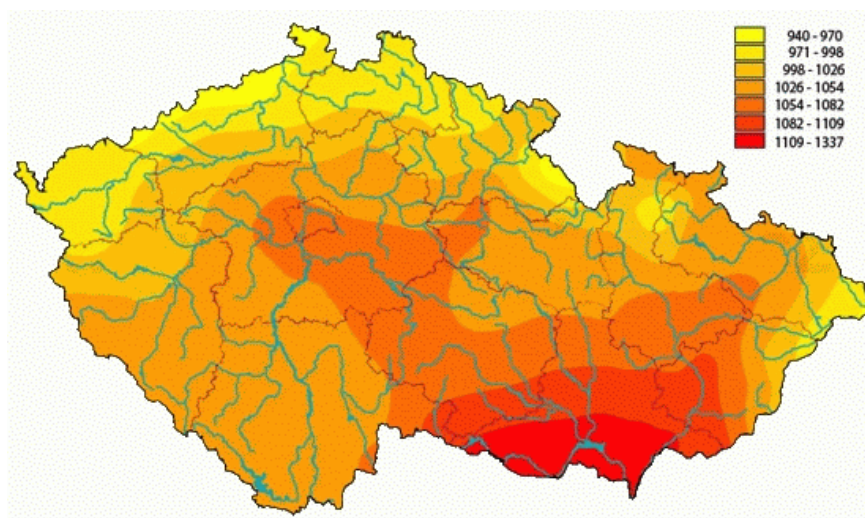
2.2.3 *Datové služby*

Elektrická energie je nezbytná pro funkci výpočetní techniky a další elektroniky (pro přenos, zpracování a uchovávání dat a informací, dobíjení mobilních zařízení). Tato zařízení, která jsou již standardním vybavením většiny domácností (počítače, televizory), nám umožňují přístup k informacím a jejich zobrazení (digitální fotografie, naučné filmy a dokumenty), zábavu a estetické zážitky (filmy, seriály, reprodukci hudby atd.), a na druhou stranu též vytváření těchto dat – záznam hudby, pořizování fotografií, či psaní textu (např. i text této bakalářské práce psaný na počítači by bez elektrické energie nemohl vzniknout). Díky elektrické energii a datovým službám/sítím máme tedy možnost vytvářet digitální data, komunikovat, sdílet informace a mít přístup do datových systémů prakticky po celém světě (Wikipedie, Google, sociální sítě, YouTube atd.). Vytváření, přenos, reprodukce a uchování dat v digitální podobě dnes nemá žádnou alternativu v podobě technologie, která by nebyla závislá na elektrické energii. Pro funkci těchto zařízení a poskytování služeb, které zajišťují, je tedy elektřina naprosto klíčová a nelze ji ničím jiným nahradit.

3 ZDROJE OBNOVITELNÉ ENERGIE VYUŽITELNÉ V MALÉM MĚŘÍTKU

3.1 Solární energie

Slunce je naším největším zdrojem energie a jeho záření umožňuje svojí přítomností život na Zemi, a tedy samotnou existenci člověka. Intenzita slunečního záření závisí nejen na geografických podmínkách, ale ovlivňuje ji i počasí, roční období a bezesporu i střídání dne a noci. Množství slunečního záření v České republice se uvádí zhruba kolem 1200 kWh/m² a průměrná doba slunečního záření kolísá mezi 1750 až 1900 hodinami za rok. [5]



Obr. 3.1 Mapa intenzity slunečního svitu v ČR
(hodnoty uvedeny v kWh na 1 m² vodorovné plochy za rok) [21]

Sluneční energie se může transformovat, ukládat a nepřímo se tak využívá v podobě biomasy, fosilních paliv či energie vody a větru. Vzhledem k tomu, že fosilní zdroje jsou vytvářeny několik miliónů let, je pro naši civilizaci relevantní jen energie získaná z biomasy (proces fotosyntézy a růst rostlin trvající v horizontu let), vody a větru (výpar a následná kondenzace či nerovnoměrné zahřívání zemského povrchu trvající v řádech hodin a dnů). Dopadající energii Slunce lze však využívat i přímo, a to buď pasivně, nebo aktivně pomocí fototermických a fotovoltaických kolektorů. [22]

3.1.1 Pasivní solární systémy

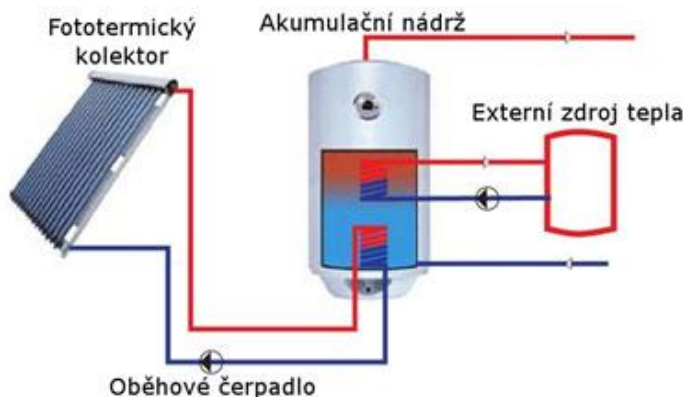
Pro výhodné vytápění budov lze energii slunečního záření zachycovat vlastní stavbou díky tzv. solární architektuře. Stavba musí být přizpůsobena prostředí tak, aby bylo co nejvíce využito pozitivních účinků, jako je např. sluneční záření v zimě. Zároveň však musí být potlačeny účinky negativní (sluneční záření v létě, vítr apod.). Toho se hojně využívá především při budování nových objektů, kdy s pomocí vhodně zvoleného vnitřního uspořádání stavby a umístění a orientace oken můžeme podstatně snížit provozní náklady na vytápění a klimatizaci. Ve výsledku mohou činit tyto energetické úspory 30 % i více z celkové spotřeby tepla na vytápění. [5, 23]

3.1.2 Aktivní solární systémy

Fototermika

Fototermické kolektory (sběrače) přeměňují energii slunečního záření na teplo. Využívají se k vytápění budov, k přípravě teplé užitkové vody (TUV) či ohřívání vody v bazénech.

Energie slunečního záření je pohlcena absorpční plochou kolektoru a následně ve formě tepla předávána teplonosné látce, kterou může být kapalina (voda, nemrzoucí směs) nebo vzduch. Tepelná energie je dále odváděna buď přímo ke spotřebičům, nebo do zásobníku (akumulátoru tepla), kde je uchovávána pro dobu, kdy bude energie nedostatek (např. v noci), viz obr. 3.2. [23]



Obr. 3.2 Základní schéma fototermického principu ohřevu vody [24]

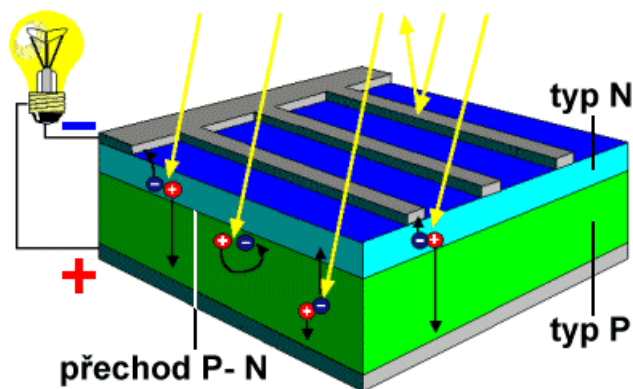
V České republice se na ohřívání užitkové vody spotřebuje ročně asi 17 % veškeré konečné spotřeby energie vyrobené z primárních paliv. V teplejší polovině roku je solární zařízení s kolektory o rozměrech 1 až 1,5 m² schopno pokrýt celkovou spotřebu TUV na jednu trvale bydlící osobu v ČR. [5]

Fotovoltaika

Fotovoltaika využívá přímé přeměny slunečního záření na elektrickou energii pomocí tzv. fotovoltaiických článků. Ty jsou pro svoje malé výstupní napětí a výkon spojovány do fotovoltaiických modulů (panelů) a následně polí. [25]

Základem je tzv. fotovoltaiický jev, který byl poprvé pozorován a popsán roku 1839 Alexandrem Edmondem Becquerelem. Becquerelův experiment byl však spíše jen prvním pozorováním tohoto jevu v kapalném prostředí, přičemž pozorování vnitřního fotovoltaiického jevu na P-N přechodu selen-platina popsali roku 1876 pánové William Grylls Adams a Richard Evans Day. Následně pak roku 1883 zkonstruoval Charles Fritts první fotovoltaiický článek složený z tenké vrstvy zlata nanesené na destičce selenu. Účinnost článku byla cca 1 %. K aplikaci těchto poznatků v podobě fotovoltaiických článků určených k výrobě elektrické energie však začalo docházet až počátkem 60. let minulého století v souvislosti s výrobou polovodičů a rozvojem kosmonautiky. [26, 27, 28]

Solární článek je v podstatě polovodičová dioda s tzv. P-N přechodem. Skládá se z tenké křemíkové destičky s vodivostí typu P, na níž se při výrobě vytvoří tenká vrstva polovodiče typu N. Při dopadu světla na povrch fotočlánku předávají fotony svou energii atomům v krystalové mřížce křemíku a uvolňují z ní elektrony. V horní vrstvě typu N se hromadí záporné elektrony, kdežto ve spodní vrstvě typu P je jich nedostatek, který se projevuje jako kladné „díry“. Přechod P-N zabraňuje volnému přechodu elektronů z místa jejich nadbytku do místa jejich nedostatku a mezi horní a spodní vrstvou tak vzniká elektrické napětí o velikosti zhruba 0,6 V. Při propojení elektrod vnějším obvodem se začnou kladné a záporné náboje vyrovnávat a obvodem začne procházet elektrický proud. [25, 29, 30]



Obr. 3.3 Fotovoltaický článek [25]

Fotovoltaické systémy mohou být buď ostrovní, nebo zapojené do sítě. Ostrovní systémy jsou nezávislé na rozvodné síti a bývají označovány jako „grid-off“. Jejich nevýhodou je nutnost uchovávání elektrické energie v akumulátorech pro období bez slunečního svitu. Fotovoltaické systémy spojené se sítí („grid-on“) mohou přebytek vyrobené elektrické energie dodávat do veřejné rozvodné sítě. Výhodou je, že v době nedostatku vlastního výkonu lze energii odebírat ze sítě. [25] Spojením obou předchozích systémů vzniká tzv. hybridní elektrárna, která umí pracovat jako ostrovní a v případě nedostatku energie v akumulátorech přepíná na distribuční síť. [31]

V posledních letech výrazně klesají ceny sériově vyráběných fotovoltaických panelů, s čímž přichází myšlenka využívání těchto panelů pro tepelné účely – ohřev pomocí odporové zátěže. Panely mohou být připojeny přímo k odporové zátěži, nebo je využito regulátoru zajišťujícího sledování bodu maximálního výkonu (tzv. MPP tracking). [28, 32]

3.2 Biomasa

Za biomasu je obecně považována veškerá organická hmota na Zemi, jež se účastní koloběhu živin v biosféře [33], v užším pojetí pak organická hmota rostlinného původu získaná na bázi fotosyntetické konverze sluneční energie. [5] Za energeticky využitelnou biomasu se považuje biomasa rostlinná, živočišná, dále vedlejší organické produkty a organické odpady.

Energetickou biomasu lze z technologického hlediska rozdělit do dvou základních skupin:

Biomasa záměrně pěstovaná pro energetické účely:

- plodiny lignocelulózové:
 - rychle rostoucí dřeviny – topol, vrba, olše, akát, ...
 - obiloviny
 - travní porosty – sloní tráva, chřastice, trvalé travní porosty
 - rostliny bylinného charakteru – konopí seté, šťovík, amaranthus, čirok, ...
- plodiny olejnaté – řepka olejka, slunečnice, len
- plodiny škrobnato-cukernaté – cukrová řepa, cukrová třtina, brambory, kukuřice

Biomasa odpadní:

- z rostlinné výroby – zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny – sláma obilná, kukuřičná, řepková, zbytky po likvidaci křovin, odpady ze sadů a vinic
- z živočišné výroby – exkrementy z chovů hospodářských zvířat, zbytky krmiv

- z těžby a zpracování dřeva a lesní odpady – větve, kůra, pařezy, kořeny, odřezky, piliny, hobliny
 - biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) – zbytky potravin, papírové obaly
 - biologicky rozložitelný průmyslový odpad (BRPO) – odpady z jatek, mlékáren, lihovarů a konzerváren, odpady z vinařských provozoven
 - splašky z kanalizace – kaly z odpadních vod
- [5, 34]

3.2.1 Způsoby využití biomasy k tepelným účelům

Jakým způsobem lze biomasu nejlépe využít je patrné především z jejích fyzikálních a chemických vlastností, přičemž za jednu z nejdůležitějších můžeme považovat vlhkost, která je dána obsahem sušiny v biomase. Jestliže hmotnostní obsah sušiny převyšuje hmotnostní obsah vody, používají se suché procesy, je-li tomu naopak, biomasa se zpracovává procesy mokřými. [5]

Mezi nejčastější způsoby využívání biomasy k energetickým účelům patří ze suchých procesů spalování biomasy, z mokřých procesů je to anaerobní fermentace (kvašení) za účelem výroby bioplynu, či výroba bioetanolu fermentací alkoholovou. Z ostatních způsobů převažuje výroba metylesteru kyselin bioolejů získávaných v surovém stavu ze semen olejnatých rostlin (bionafta). [5]

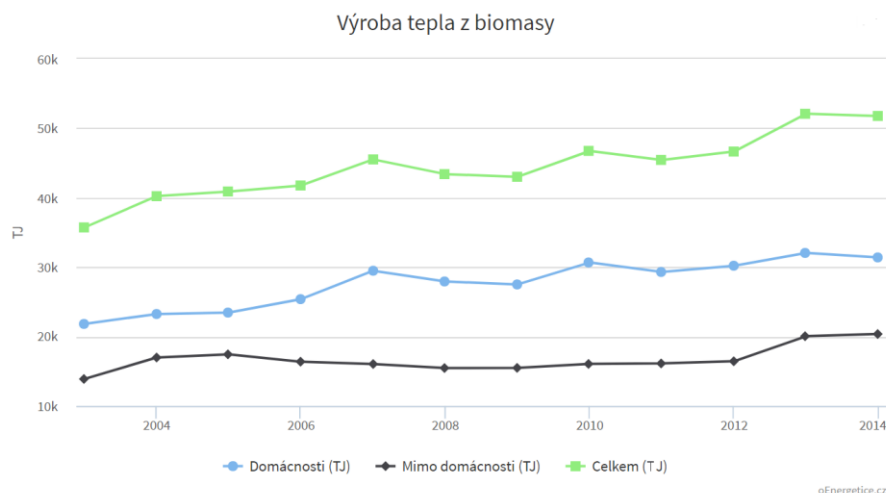
Spalování [5]

Nejstarší známou a zároveň nejrozšířenější metodou energetického využívání biomasy je spalování v kotlích. Jedná se o termochemický proces, který lze rozdělit do čtyř fází:

- Sušení – materiál se začne zahřívat a postupně se snižuje jeho vlhkost.
- Pyrolýza – dosáhne-li materiál zápalné teploty a má-li dostatečný přístup kyslíku, začne se postupně rozkládat na hořlavé plyny, destilační produkty a zuhelnatělý zbytek, přičemž se uvolňuje spalné teplo. Jestliže není materiál příliš vlhký a uvolňuje dostatečné množství tepla, probíhá proces pyrolýzy samovolně.
- Spalování plynné složky – hořením plynných složek se zvětšuje plamen a zvyšuje se teplota plynných spalin.
- Spalování pevných látek – při dohořívání se za přítomnosti dostatečného množství kyslíku vytváří oxid uhelnatý (CO), který dále oxiduje na oxid uhličitý (CO₂).

Uvádí se, že na rozdíl od spalování fosilních paliv je produkce CO₂ při spalování biomasy neutrální, jelikož množství plynu uvolněného do ovzduší je zhruba totožné s tím, které je rostlinami zpětně vázáno při fotosyntéze. [34] Otázkou ovšem zůstává množství CO₂ vygenerovaného při pěstování, agrotechnice, sklizni, přepravě a přípravě biomasy do podoby využitelného paliva, neboť tato „stopa“ může neutrálnost produkce CO₂ některých biopaliv značně zpochybňovat.

Využívání biomasy pro tepelné účely je s účinností větší než 90 % velmi výhodné. Oproti tomu účinnost při výrobě čisté elektřiny nedosahuje ani 50 %. Velmi často je biomasa využívána ke kombinované výrobě tepla a elektřiny – tzv. kogenerační výroba, kde se účinnost pohybuje v rozmezí 50-90 %. [34]



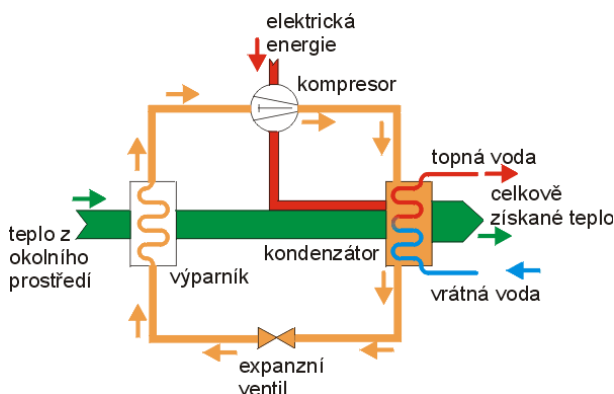
Obr. 3.4 Výroba tepla z biomasy v ČR [34]

Jistou výhodou biomasy je také fakt, že se jedná o určitý typ akumulace sluneční energie ve formě spalitelné hmoty. Pokud tuto biomasu vhodně uskladníme (dřevo narovnané v dřevníku), je možné poté řízeně a dle potřeby uskladněnou energii uvolňovat.

3.3 Nízkoteplotní zdroje tepla

Obecně se jedná o využití sezónní akumulace tepelné energie ze solárního záření (energie z půdy, okolního vzduchu, povrchových vod atd.), geotermální energie (teplo z podzemní vody z vrtů (hloubka cca v desítkách metrů) atd.) či druhotné využití odpadního tepla. Tyto zdroje mají však tak nízké teploty, že je nezbytné použít tepelná čerpadla (TČ) pro převedení tepla na využitelnou teplotní hladinu. TČ se dělí podle druhu ochlazované/ohřívané látky. Např. TČ vzduch/voda vhodná pro ústřední vytápění, nebo voda/voda, kde se využívá odpadní teplo, či geotermální energie. [5]

Tepelná čerpadla můžeme řadit mezi alternativní zdroje energie, jelikož jsou schopna odebírat teplo z okolního prostředí a následně ho s pomocí určitého množství dodané energie převádět na teplo využitelné k vytápění či ohřevu vody. TČ pracují na stejném principu jako chladnička, ale využívá se opačná strana cyklu. Chladicí okruh se skládá ze čtyř základních částí: výparníku, kompresoru, kondenzátoru a expanzního (škrtkového) ventilu. Pracovní látka (kapalně chladivo) odebírá teplo venkovnímu prostředí a ve výparníku se zahřátím postupně mění v páru, která je následně v kompresoru stlačena na vysoký tlak. Stlačené páry chladiva při přeměně svého skupenství na kapalně v kondenzátoru předávají teplo ohřívané látce. Cyklus se uzavírá v expanzním ventilu, kde dochází ke snížení tlaku chladiva na původní hodnotu. [5, 35]

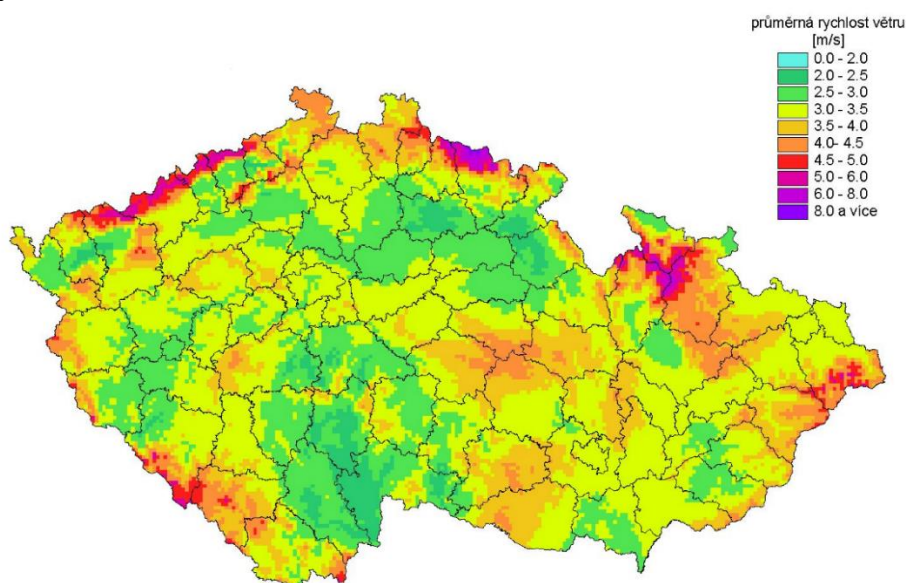


Obr. 3.5 Princip tepelného čerpadla [36]

3.4 Ostatní zdroje – Vítr, Voda

3.4.1 Vítr

Energie větru se využívala už odnepaměti v podobě větrných mlýnů. Česká republika, jakožto vnitrozemský stát, se vzhledem k absenci mořského větru nemůže srovnávat s přímořskými státy (Dánsko, Nizozemí), které mají potenciál využití větrné energie daleko větší. Podle dlouhodobých studií z celého světa se výstavba větrné elektrárny vyplatí pouze v místech, kde průměrná rychlost větru dosáhne za rok alespoň 4,8 m/s nebo více. [5] V ČR má smysl o instalaci větrných elektráren uvažovat především v horských oblastech, např. Krušnohorský, Jesenický, Krkonošský, Šumavský (viz obr. 3.6), kde se však často nachází chráněné krajinné oblasti či národní parky.



Obr. 3.6 Větrná mapa České republiky (ÚFA AV ČR) [37]

Vítr vzniká vyrovnáváním tlakových rozdílů v zemské atmosféře, které jsou způsobeny nerovnoměrným ohřevem zemského povrchu slunečním zářením (teplý vzduch stoupá vzhůru, protože je lehčí než vzduch studený), a vane vždy od tlakové výše k tlakové níži. [5] Proudění větru roztáčí listy rotoru umístěného na stožáru, čímž vzniká rotační mechanická energie, která je následně prostřednictvím generátoru přeměněna na energii elektrickou. Nejčastěji mají elektrárny vodorovnou osu otáčení, kde vítr pohání speciálně tvarované lopatky velmi podobné profilu křídel letadla. [38, 39]

Podle velikosti vrtule a výrobní kapacity se větrné elektrárny dělí na tři základní typy: malé, střední a velké. Malé větrné elektrárny mají instalovanou kapacitu do 60 kW a průměr vrtule maximálně 16 m, jejich podtypem jsou tzv. mikrozdroje (s kapacitou do 2,5 kW a průměrem vrtule do 3 m), které se využívají především pro napájení baterií či domácích elektrospotřebičů. Pro vytápění domů a ohřev vody slouží především malé větrné elektrárny od 2,5 do 10 kW. [40]

Najít vhodné místo pro soukromou větrnou elektrárnu je velmi obtížné, jelikož vyžaduje dostatečně otevřený prostor bez zábran pro proudění větru. (Rozběhová rychlost větru u většiny malých větrných elektráren se pohybuje kolem 3–3,5 m/s, přičemž dolní energeticky využitelná hranice rychlosti větru je zhruba 5 m/s.) [5, 40] Nejen kvůli malému prostoru, ale i vzhledem k hluku, míhavým stínům a bezpečnosti nejsou malé větrné elektrárny vhodné pro instalaci v běžné zástavbě, z čehož vyplývá, že je vítr, jakožto zdroj energie v domácím měřítku, málo využitelný.

3.4.2 Voda

Ačkoli přírodní podmínky v ČR nejsou příliš ideální, jelikož toky nemají potřebný spád ani dostatečné množství vody, je u nás vodní energie využívána hned po energii sluneční ze všech obnovitelných zdrojů nejvíc a na výrobě elektřiny se podílí 2,67 % (r. 2015). [41] Většina velkých vodních elektráren (s výkonem větším než 10 MW) je situována na řece Vltavě, kde tvoří tzv. Vltavskou kaskádu. Potenciál vodních toků v ČR je však pro budování velkých vodních děl již vyčerpán, a prostor tedy zbývá jen pro výstavbu malých vodních elektráren (MVE) s výkonem v řádu desítek až stovek kilowattů. [42, 43]

Principem fungování vodních elektráren je přeměna mechanické energie proudící vody na energii elektrickou na základě elektromagnetické indukce. Děj se odehrává v tzv. turbogenerátoru, který se skládá z turbíny roztáčené přitékající vodou a generátoru nacházejícím se na stejné hřídeli jako turbína. Vzhledem k menším spádům našich řek se nejčastěji používá Kaplanova turbína s nastavitelnými lopatkami, pro MVE pak malá horizontální Bánkiho turbína či jednoduchá turbína Francisova. [44]

Malé vodní elektrárny se budují nejčastěji na vodních tocích v místech bývalých mlýnů a jezů. Ačkoli výkon těchto elektráren nekolísá podle střídání dne a noci nebo okamžitých změn počasí (na rozdíl od elektráren fotovoltaických či větrných), je vzhledem k průtoku menších toků závislý na ročním období a úhrnu srážek. MVE jsou velmi náročné z hlediska instalace, mimo jiné je z ekologických důvodů nutné dodržovat tzv. sanační průtok (stálý průtok vody v původním korytě vodního toku), a najít pro ně vhodné místo se zdá být ještě obtížnější než u elektráren větrných. Provoz MVE je také náročný z hlediska zajištění běžného chodu, neboť je nezbytná prakticky každodenní obsluha a dozor hlavně u zařízení na odstranění mechanických nečistot z přitékající vody (tzv. čištění česlí). [43, 45]

3.5 Shrnutí kapitoly 2 a 3 – kritické zhodnocení

Z výše uvedeného vyplývá, že v domácnosti je nejdůležitější energie elektrická, a to pro svoji univerzálnost a v dnešní době nezastupitelnou roli, rovněž je ale důležitá i energie tepelná. V domácím měřítku je z obnovitelných zdrojů nejvýhodnější a nejpraktičtější využít sluneční energii a energii získanou z biomasy, jelikož pro větrné či vodní elektrárny je téměř nerealné najít v zastavěných oblastech vhodné podmínky (viz kap. 3.4.1 a 3.4.2). Biomasa je z důvodů účinnosti vhodná převážně pro výrobu tepla, kdežto energii Slunce lze stejně dobře využívat i pro výrobu elektřiny. Fotovoltaika je tedy jeden z mála snadno dostupných a využitelných OZE v měřítku domu či domácnosti. Problémem je ovšem fakt, že Slunce dostatečně svítí jen ve dne a za příznivých meteorologických podmínek, zatímco služby poskytované elektřinou jsou potřeba většinou 24 hodin denně (uchovávání potravin, svícení, datové služby apod.). Z tohoto důvodu je tedy zcela nezbytné elektrickou energii získanou ze Slunce akumulovat, a pokrýt tak časový posun mezi výrobou a spotřebou.

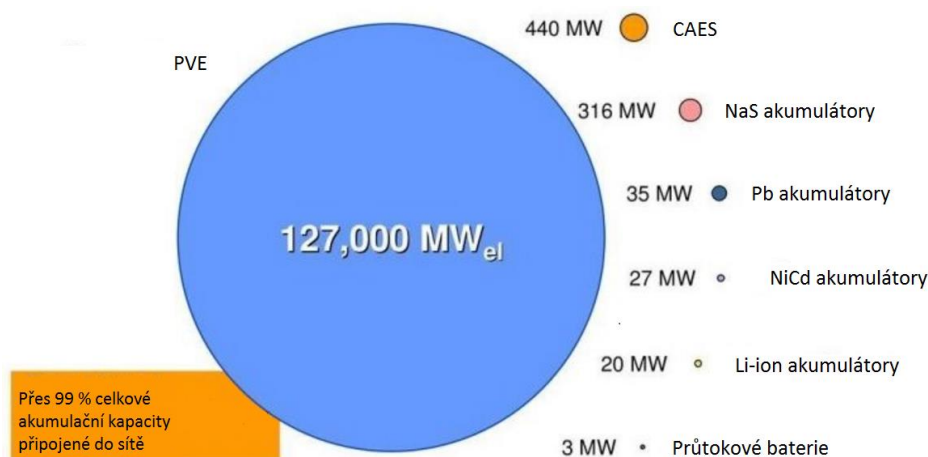
Následující kapitoly se zabývají způsoby, jakými lze energii uchovávat, a vzhledem k zaměření práce a výše uvedeným faktům budou orientovány převážně na možnosti akumulace elektrické energie získané fotovoltaickou přeměnou ze slunečního záření.

4 MOŽNOSTI AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE

4.1 Základní principy akumulace

Podle formy ukládání energie můžeme rozlišovat tři základní principy akumulace [8, 46]:

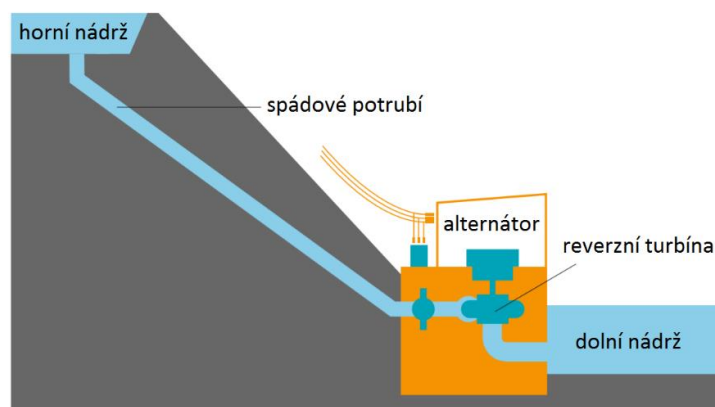
- mechanický – využívání přeměn potenciální a kinetické energie
 - přečerpávací vodní elektrárny (PVE)
 - akumulace energie založená na stlačeném vzduchu (CAES systémy)
 - setrvačníky (mechanické akumulátory)
- chemický – uchovávání energie v chemických vazbách elektrodového materiálu
 - chemické akumulátory
 - průtokové baterie
 - vodíkové hospodářství a palivové články
- magneto-elektrický – uskladnění energie prostřednictvím elektrostatického či magnetického pole
 - superkondenzátory
 - supravodivé indukční akumulátory



Obr. 4.1 Celosvětové akumulační kapacity připojené do elektrizační soustavy (pouze klasické technologie podle studie EPRI – bližší popis zkratk viz následující podkapitoly) [47]

4.1.1 Přečerpávací vodní elektrárny (PVE)

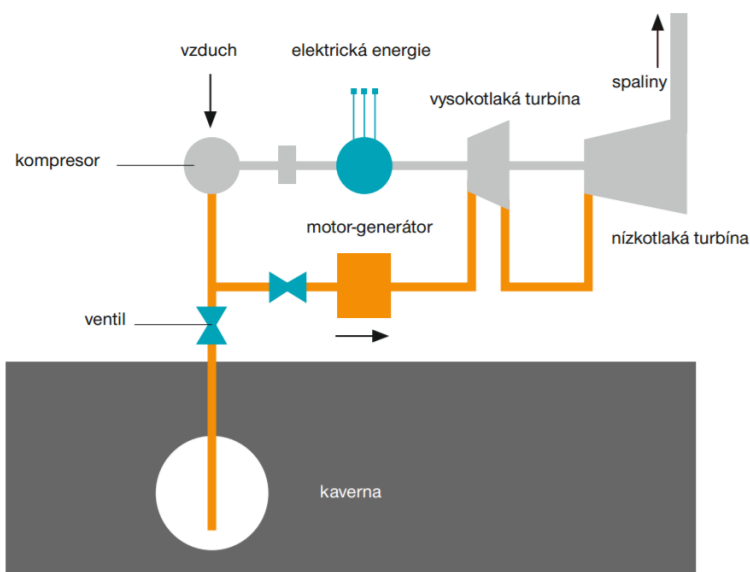
PVE jsou vodní elektrárny sloužící k akumulaci elektrické energie v podobě potenciální energie vody. Skládají se ze dvou nádrží, které jsou umístěny v rozdílných výškách a propojeny spádovým vysokotlakým potrubím s reverzní (např. Francisovou) turbínou, jež může plnit i funkci čerpadla (viz obr. 4.2). Dolní nádrž je obvykle zřízena na hrázi průtočné vodní elektrárny na říčním toku, v některých případech ji může zastupovat i moře, a horní nádrž je vybudována na některém blízkém vrcholu. Ve vysokých horách lze využít i odlehlejší vysokohorská jezera s velkým výškovým rozdílem, která se propojí tunelovými šachtami. Princip PVE je velmi jednoduchý, v době přebytku elektrické energie v síti je voda čerpána do horního rezervoáru a zvyšuje tak svou potenciální energii, v případě potřeby (při energetických špičkách) může voda naopak tuto energii předávat turbíně a s ní spojenému elektrickému alternátoru, který ji vrací v podobě elektrické energie zpět do sítě. Jedná se o nejčastější metodu akumulace velkého množství elektrické energie na delší dobu. Vodní elektrárna může najet na plný výkon během relativně krátké doby (přibližně 100 s) a současná soustrojí umožňují akumulaci s účinností kolem 75 %. [7, 11, 48, 49]



Obr. 4.2 Uspořádání přečerpávacích vodních elektráren [11]

4.1.2 Akumulace energie založená na stlačeném vzduchu (CAES systémy)

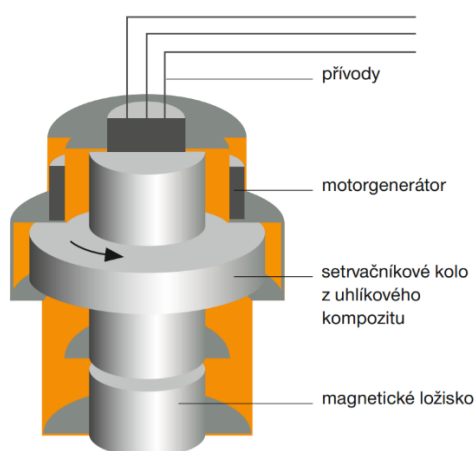
CAES systémy (z anglického Compressed Air Energy Storage) jsou stejně jako PVE schopny dodávat velké množství energie po relativně dlouhou dobu (řádově hodin). Vzduchové elektrárny s tlakovými zásobníky pracují na podobném principu jako přečerpávací elektrárny. V případě CAES je přebytečnou elektrickou energií poháněn kompresor, který stlačuje vzduch do objemných a dobře utěsněných prostor, jimiž mohou být přírodní podzemní jeskyně či důlní kaverny. Hodnota tlaku vtláčeného vzduchu činí kolem 7 až 10 MPa. [50] V době nedostatku elektrické energie se stlačený vzduch z geologického podloží přivádí na plynovou turbínu, která pohání soustrojí s generátorem elektrické energie. Účinnost CAES systémů je snížena kvůli tepelným ztrátám, protože vzduch ohřátý při stlačení v kompresorech se v akumulátoru ochladí, čímž ztratí přibližně třetinu energie. V současnosti se proto využívá tzv. adiabatický způsob ukládání stlačeného vzduchu (AA-CAES), při kterém se teplo stlačeného vzduchu odebere, přechodně uchová v zásobníku tepla a následně použije k ohřátí vzduchu na teplotu potřebnou pro turbínu. Účinnost systému se tak zvýší asi na 70 % [50], což je hodnota blíží se účinnosti PVE. Zajímavostí ve světě CAES systémů je projekt britského vědce Seamuse Garveyho, který místo podzemních kaveren využívá k akumulaci stlačeného vzduchu vaky umístěné pod mořskou hladinou. [7, 8, 11, 50, 51]



Obr. 4.3 Zjednodušený princip tlakovzdušné akumulace elektrického výkonu v akumulární elektrárně se spalovacími turbínami v Huntorfu (Německo) [11]

4.1.3 Setrvačníky (mechanické akumulátory)

Setrvačníky ukládají energii do kinetické energie otáčející se hmoty rotoru. Množství uložené energie E_k je úměrné momentu setrvačnosti J a čtverci úhlové rychlosti ω . Setrvačnické akumulátory mohou být dvojího druhu. Nízkootáčkové setrvačníky pracující při otáčkách do $8\,000\text{ min}^{-1}$ využívají své velké hmotnosti (rotory vyrobeny z oceli) a vhodného tvaru pro dosažení co největšího momentu setrvačnosti. Vysokootáčkové setrvačníky mají rotory vyrobeny z plastů vyztužených vlákny a vydrží více než $100\,000$ otáček za minutu. Vzhledem k tak vysokým otáčkám je z důvodu zamezení tření o vzduch rotor uložen ve vakuu, často pak ještě v magnetických ložiskách s magnetickou levitací. Setrvačníky se vyznačují vysokým výkonem, dlouhou životností a velmi krátkou náběhovou prodlevou v řádech jednotek ms. Využívají se v pístových spalovacích motorech z důvodu vyrovnávání nerovnoměrných sil či v leteckém a kosmickém průmyslu pro polohovou stabilizaci díky gyroskopickému efektu. Svou roli hrají také v průmyslu pro překonávání krátkodobých výpadků sítě. [7, 8, 11]



Obr. 4.4 Setrvačnický akumulátor s rotorem z uhlíkového kompozitu zavěšeným v magnetických ložiskách, otáčejícím se rychlostí až $100\,000$ otáček za minutu [11]

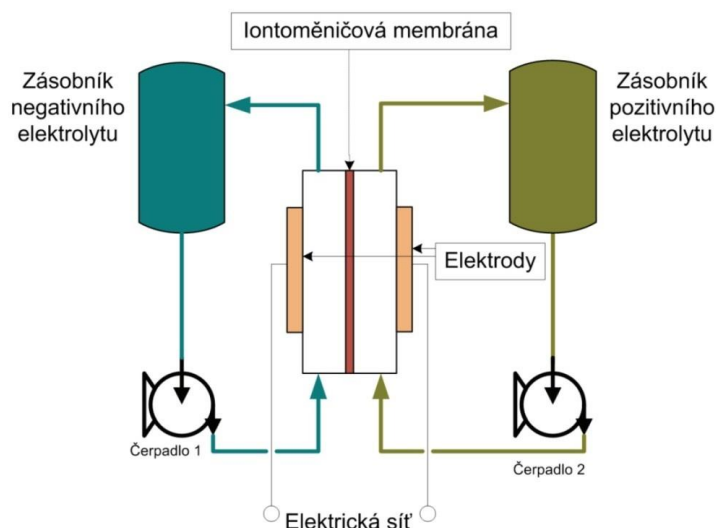
4.1.4 Chemické akumulátory

Chemické akumulátory (akumulátorové baterie) uchovávají elektrickou energii ve formě chemických vazeb. Akumulátory se nabíjejí převedením reakčních produktů pomocí elektrického proudu opět na původní aktivní reaktanty. Při nabíjení elektrickým proudem z jiného zdroje se mění dodávaná elektrická energie na energii chemickou, při vybíjení je tomu naopak a vzniklá elektrická energie je dodávána zpět do elektrického obvodu. Ze záporné elektrody se během vybíjení stává katoda, na které reaktant oxiduje a předává jí volné elektrony. Anodou je při vybíjení kladná elektroda, jež předává reaktantu volné elektrony a ten je zde redukován. Obráceně je tomu při nabíjení, kdy se ze záporné elektrody stává anoda a z kladné elektrody katoda. Jelikož se elektrické napětí jednoho článku pohybuje v závislosti na typu akumulátoru v rozmezí $1,2$ až 2 V , sestavují se z článků sériově akumulátorové baterie. Většina akumulátorů je schopna snést opětovné nabití a vybití ve stovkách až tisících cyklů. Jejich další výhodou je dobře zvládnutá technologie výroby, relativně nízká cena a operativní použití kdekoliv. Nevýhodou je pak samovybíjení a citlivost na hluboké vybíjení, při kterém většinou nastávají nevratné změny na elektrodách a snižuje se tak kapacita akumulátoru. [7, 52]

Tomuto typu akumulace bude věnována podkapitola 4.2, kde budou mimo jiné uvedeny jednotlivé druhy chemických akumulátorů.

4.1.5 Průtokové baterie

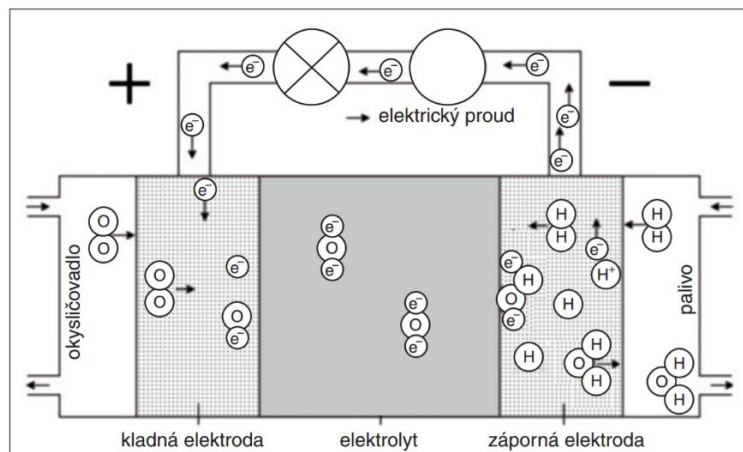
Průtokové baterie se velmi podobají klasickým chemickým akumulátorům, jelikož jsou rovněž tvořeny kladnou a zápornou elektrodou a elektrolytem. Liší se však uchováváním energie, protože u konvenčních baterií je všechna energie uvnitř článku, kdežto průtokové baterie uchovávají chemickou energii v elektrolytech (pozitivním a negativním) umístěných ve dvou velkých vnějších nádržích. Elektrolyty čerpané z nádrží pomocí čerpadel proudí přes články, které obsahují tenkou iontoměničovou membránu, jež zabraňuje promíchání elektrolytů. Zároveň na ní dochází k chemickým reakcím, kdy je jeden z elektrolytů elektrochemicky oxidován a druhý redukován. Napětí v akumulátoru se v závislosti na druhu elektrolytu pohybuje v rozmezí od 1,4 V do 1,8 V a účinnost těchto baterií dosahuje až 85 %. Jejich velkou nevýhodou je hustota energie, která závisí na množství elektrolytu v rezervoárech, a je asi 15krát nižší než u klasických (lithiových) akumulátorů. Na rozdíl od konvenčních baterií však téměř netrpí samovybíjením, vydrží dlouho vybité a snesou velký počet nabíjecích a vybíjecích cyklů (přes 10 000), aniž by došlo k degradaci a významnému snížení kapacity akumulátoru. Za jejich další výhodu lze považovat i šetrnost k životnímu prostředí, neboť oproti většině ostatních akumulátorů založených na chemických reakcích neobsahují žádné nebezpečné kovy. [8, 53, 54]



Obr. 4.5 Konstrukce průtokové baterie [53]

4.1.6 Vodíkové hospodářství a palivové články

Vodíkovým hospodářstvím, jakožto způsobem využívání vodíku k energetickým účelům, se začali vědci zabývat v 60. letech 20. století, a to především k ukládání mimošpičkové energie z jaderných elektráren. Vodík se nedá považovat za klasické palivo, protože k jeho výrobě je potřeba nemalé množství energie. Primárně se získává elektrolýzou vody, ale lze ho vyrobit např. i chemickou reakcí metanu za vysokých teplot. Energie se zpětně produkuje jeho oxidací, a to buď přímým spalováním (spalovací motory, plynové turbíny), či elektrochemickou reakcí, tzv. studeným spalováním v palivovém článku, čehož se hojně využívá v automobilovém průmyslu (vodíkové elektromobily). Palivové články mění chemickou energii na elektrickou pomocí oxidačně-redukčních reakcí. Nejběžnější jsou palivové články založené na principu slučování vodíku s kyslíkem (viz obr. 4.6). Na anodu je přiváděn vodík (palivo), který se zde disociuje na protony a elektrony. Elektrony následně prochází vnějším obvodem, kde konají práci, a vodíkové protony se na katodě slučují se dvěma elektrony a atomem kyslíku (okysličovadlo) za vzniku vody. [7, 48, 55, 56]

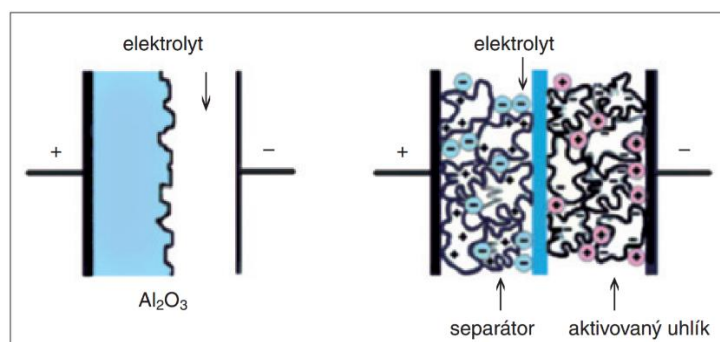


Obr. 4.6 Schéma palivového článku [7]

Účinnost palivových článků je poměrně nízká, pohybuje se v rozmezí od 35 do 50 %, výhodou článků je však jejich dlouhá životnost a schopnost dlouhodobého ukládání energie. Vodík má jednu z nejvyšších výhřevností a jeho spalováním prakticky nevznikají žádné škodliviny (musíme však brát v potaz i okolnosti jeho výroby, které už ekologicky čisté být nemusí). Nevýhodou je obtížné skladování vodíku vzhledem k jeho prudké výbušnosti a schopnosti difundovat do kovů, což způsobuje křehnutí ocelí. [7, 48, 49, 55, 56]

4.1.7 Superkondenzátory

Superkondenzátory ukládají energii v podobě elektrického pole, nedochází zde tedy k přeměně energií. Principem uchování náboje se superkondenzátory pohybují na rozmezí baterií a klasických kondenzátorů. Svoji konstrukcí a elektrolytem se podobají akumulátorům, ale elektrický náboj není uchován chemicky, nýbrž elektrostatickou silou na povrchu elektrod. Ty jsou tvořeny práškovým uhlíkem naneseným na hliníkové fólii a mají tak specifický povrch s velkou plošnou hustotou ($2\,000\text{ m}^2/\text{g}$), čímž je zajištěna kapacita v řádu tisíců faradů (viz obr. 4.7). Elektrody jsou odděleny polypropylenovou fólií a prostor je vyplněn tekutým elektrolytem, který může být na vodné bázi či tvořen bezvodým organickým rozpouštědlem. Svorkové napětí jednoho článku se podle použitého elektrolytu pohybuje v rozmezí od 1 do 3 V, pro akumulaci pod vyšším napětím lze články řadit sériově. [7, 8]



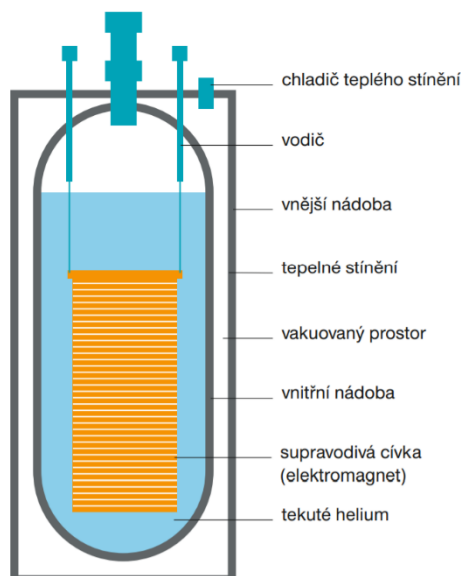
Obr. 4.7 Schéma vnitřního uspořádání superkondenzátoru [7]

Nevýhodou superkondenzátorů je jejich samovybíjení, na druhou stranu se vyznačují vysokou cyklovatelností, poměrně velkou účinností akumulace (až 95 %) a vynikají svojí schopností přijmout velké množství náboje v průběhu několika málo sekund. Velice dobře se

hodí na krátkodobé pokrytí špičkových rozdílů, běžně se využívají především v hybridních automobilech a elektromobilech, kde jsou určeny k rychlé akumulaci energie při rekuperaci během brzdění a k rychlému dodání energie pro akceleraci. [7, 8]

4.1.8 Supravodivé indukční akumulátory

Supravodivost objevil roku 1911 nizozemský fyzik Heike Kammerlingh Onnes, ale až v 80. letech 20. století začaly v USA první pokusy s akumulací elektrické energie do supravodivých cívek. Princip je založen na ukládání energie ve formě magnetického pole vytvořeného proudem protékajícím v elektrické cívce, přičemž je třeba střídavý proud z rozvodné sítě přeměnit na stejnosměrný. Cívka akumulátoru musí být konstruována pro velké proudy a z důvodu tepelných ztrát je nutné zajistit, aby měl vodič navinutý na cívku nulový odpor (musí se jednat o tzv. supravodič). Supravodivost cívky se zachovává pouze při velmi nízkých teplotách, proto bývá chlazena kapalným heliem, či kapalným dusíkem. Velkou výhodou tohoto způsobu akumulace je vysoká účinnost, a ačkoli se udává, že asi 3 % energie se ztratí v měniči a chladicím systému, pohybuje se účinnost kolem 95 %. Dalšími výhodami jsou pak extrémně krátké časy nabíjení a vybíjení, vysoká rychlost reakce na změny v síti, či velký výkon. [7, 11, 49]



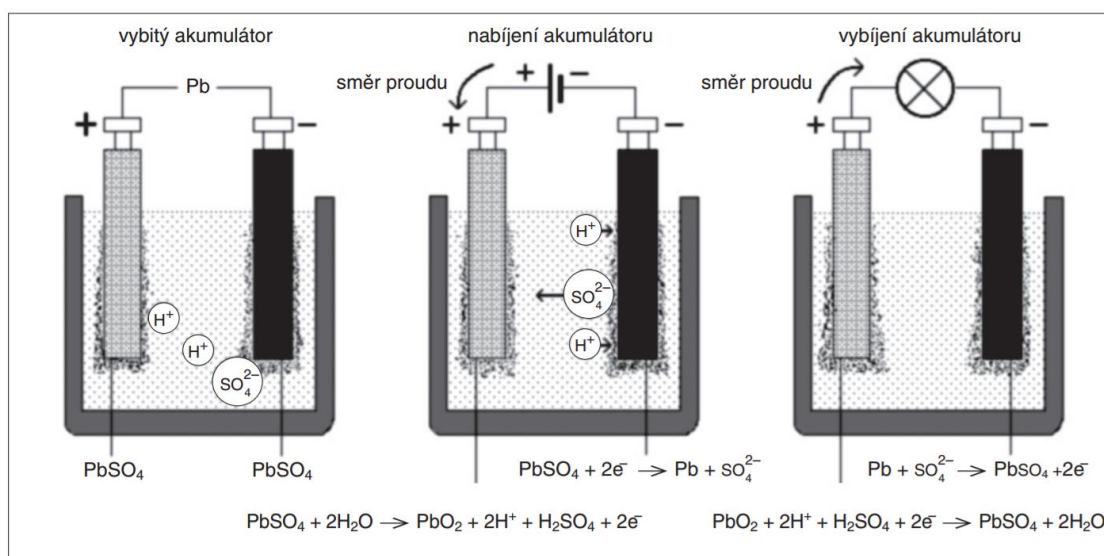
Obr. 4.8 Supravodivý akumulátor [11]

4.2 Chemické akumulátory

Zatímco ve velké energetice se v současnosti, vzhledem k vysoké účinnosti a možnosti uchovávat velké množství energie, nejčastěji využívají přečerpávací vodní elektrárny, mezi malospotřebiteli v domácnostech jsou z praktického hlediska (cena, rozměry apod.) nejvíce rozšířeny různé druhy akumulátorů. [11] Nejčastějšími jsou tradiční olověné, alkalické nebo modernější lithiové akumulátory. Na trhu však můžeme najít i další typy nekonvenčních baterií, jakými jsou např. kov-vzduch (Metal-Air), či sodík-síra (NaS), které jsou výhodné pro vysokovýkonové aplikace nad 1 MW. [53, 57]

4.2.1 Olověné akumulátory

První olověný akumulátor navrhl roku 1859 francouzský fyzik G. R. Planté. Skládá se ze dvou elektrod, přičemž v nabitém stavu je záporná elektroda tvořena porézním olovem a kladná oxidem olovičitým, ponořených do nádoby s vodným roztokem kyseliny sírové. Při vybíjení se působením kyseliny usazuje na obou elektrodách síran olovnatý. Proces vybíjení a nabíjení je i spolu s jednotlivými rovnicemi reakcí podrobně rozebrán na obr. 4.9. Svorkové napětí jednoho článku je přibližně 2 V. [7, 8, 11, 52]



Obr. 4.9 Schéma olověného akumulátoru [7]

Ačkoli patří olověné akumulátory spolu s dále uvedenými alkalickými mezi nejstarší akumulátory, stále se využívají díky své velmi nízké ceně, bezpečnosti, odolnosti vůči nízkým teplotám a dobré účinnosti pohybující se okolo 80 %. Nenahraditelné jsou v automobilech pro svou schopnost dodat velké proudy při startování motoru. Jejich nevýhodou je oproti jiným akumulátorům relativně malá hustota energie a zátěž životního prostředí v podobě jedovatého olova. [8, 11, 49, 58]

4.2.2 Alkalické akumulátory

Alkalické akumulátory se podle použitých materiálů kladných a záporných elektrod dělí na mnoho druhů (např. Ni-Cd, Ni-Fe, Ni-MH, Ni-Zn, Ag-Zn), jejich společným znakem je však použití elektrolytu tvořeného vodným roztokem hydroxidu alkalického kovu, nejčastěji hydroxidu draselného. [52]

Nikl-kadmiové akumulátory (Ni-Cd)

Jsou v současnosti nejrozšířenějšími alkalickými akumulátory. Kladná elektroda je v nabitém stavu tvořena oxohydroxidem nikelnatým, který se při vybíjení redukuje na oxid nikelnatý. Záporná kadmiová elektroda při vybíjení reaguje s hydroxidovými ionty za vzniku hydroxidu kademnatého. Napětí jednoho článku je 1,2 V. Ni-Cd akumulátory se velmi rychle nabíjí, mají poměrně vysokou hustotu energie a dlouhou cyklickou životnost, příliš netrpí samovybíjením a jsou spolehlivé za extrémních provozních stavů. Jejich nevýhodou je však ekologická zátěž v podobě kadmia a tzv. paměťový efekt, který výrazně snižuje jejich kapacitu, pokud nebyly před nabitím zcela vybity. [8, 11, 52, 59]

Nikl-metal hydridové akumulátory (Ni-MH)

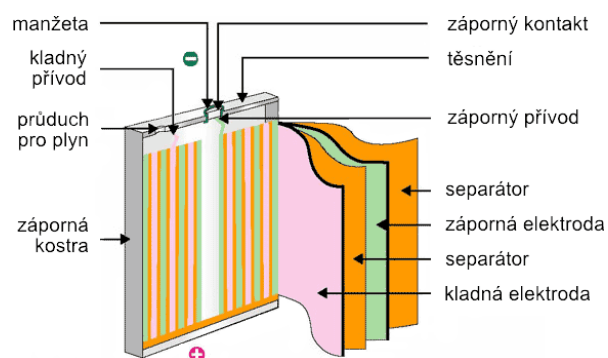
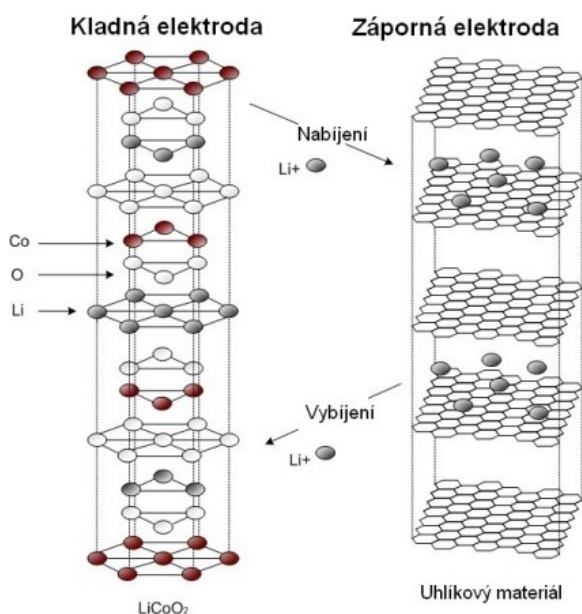
Svojí stavbou jsou velmi podobné nikl-kadmiovým akumulátorům. Základním rozdílem je nahrazení jedovatého kadmia slitinou kovu pohlcující vodík. Oproti Ni-Cd akumulátorům mají přibližně dvounásobnou kapacitu, jejich životnost je ale poloviční. Ni-MH akumulátory se běžně využívají v podobě tužkových článků do drobné elektroniky. Mají vynikající objemovou koncentraci, trpí však samovybíjením a malou proudovou zatížitelností. [52, 58, 59]

4.2.3 Lithiové akumulátory

V poslední době se stále více ustupuje od používání olověných a alkalických akumulátorů ve prospěch akumulátorů lithiových. Tyto akumulátory, které se na trhu objevily již počátkem devadesátých let, vynikají především svou vysokou energetickou hustotou a účinností, nižším samovybíjením (ve srovnání s většinou ostatních akumulátorů) a malou velikostí a hmotností, díky čemuž se hojně používají v přenosných zařízeních, elektromobilech a pro krátkodobé zálohování. [8, 58, 60]

Kladná elektroda lithiových akumulátorů je tvořena sloučeninami lithia (např. LiCoO_2 , LiFePO_4) a záporná elektroda je vyrobena z uhlíkového materiálu s vrstevnatou strukturou (speciální forma grafitu). Elektrolyt je na rozdíl od olověných či alkalických akumulátorů bezvodý a tvoří ho lithiové soli (nejčastěji LiPF_4) rozpuštěné v organickém rozpouštědle. Při nabíjení v podstatě nedochází k chemickým reakcím a ionty lithia pouze interkalují (vmísťují se) do struktury uhlíkové elektrody. Tento princip přecházení iontů Li^+ z kladné elektrody do záporné a naopak v závislosti na nabíjení a vybíjení (viz obr. 4.10), je v zahraniční literatuře někdy příznačně nazýván rocking-chair (houpací křeslo) či swing (houpačka). [8, 49, 52, 60]

Lithium je velmi lehký kov, který nijak významně nezatěžuje životní prostředí, a díky jeho velké reaktivitě dosahuje jmenovité napětí lithiových článků vysokých hodnot (3,6 – 3,7 V). Nevýhodou lithiových akumulátorů je stále ještě poměrně vysoká cena, nižší životnost způsobená snižováním kapacity s časem bez ohledu na počet cyklů a nutnost opatrné manipulace vzhledem k riziku požáru a výbuchu. [49, 58, 60]



Obr. 4.10 Princip funkce lithiových akumulátorů [60] **Obr. 4.11** Struktura lithiového akumulátoru [60]

Li-ion akumulátory

Nejstarším typem lithiových akumulátorů jsou lithium-iontové články s kapalným elektrolytem a katodou tvořenou oxidem kovu LiCoO_2 . Typický Li-ion článek má válcový tvar, kde jsou elektrody svinuty po jeho obvodu. V současnosti se vzhledem k velmi malé hmotnosti jedná o nejpoužívanější typ akumulátoru do přenosných zařízení, hybridních automobilů a elektromobilů. Tyto akumulátory jsou mechanicky odolné, trpí však citlivostí na hlubší vybíjení způsobující snižování životnosti baterie a v extrémních případech může docházet k jejich explozi. [8, 52, 58, 60]

Li-pol akumulátory

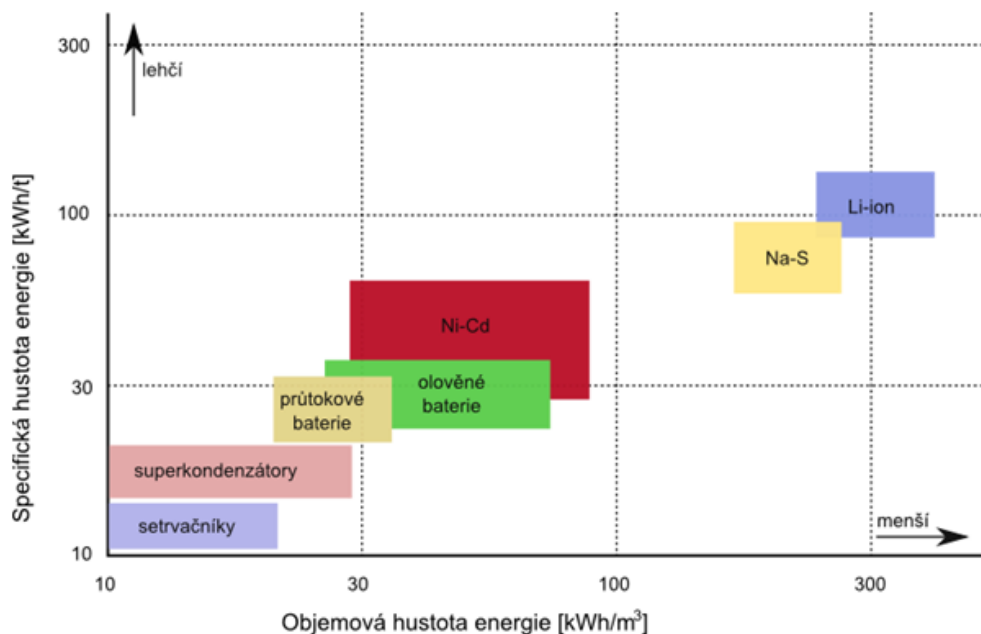
Hojně rozšířeným typem jsou také lithium-polymerové akumulátory, které se velmi podobají lithium-iontovým. Jediným rozdílem je elektrolyt, který v tomto případě tvoří iontově vodivá polymerní sloučenina. Elektrody článku se nesvinují, nýbrž skládají na sebe, a mohou tak mít různý tvar, čehož se využívá především v přenosné elektronice (notebooky, tablety). Li-pol akumulátory mají vyšší hustotu energie, jsou ale velmi citlivé na správné nabíjení a vybíjení a často kvůli tvorbě plynů uvnitř článku dochází po relativně krátké době k jejich degradaci. [58, 60]

 LiFePO_4 akumulátory

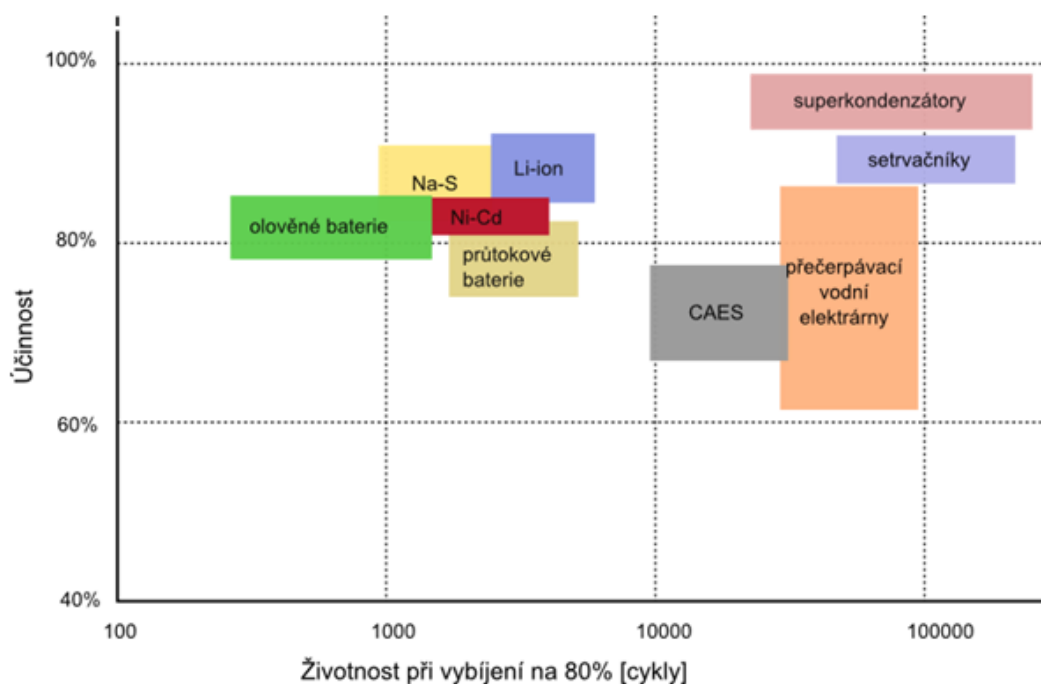
Tyto akumulátory jsou oproti předchozím typům vzhledem ke ztrátě kapacity mnohem stálější, odolnější proti hlubokému vybíjení a mají vyšší proudovou zatížitelnost. Jejich další předností je extrémně nízké samovybíjení a bezpečnost, jelikož ani při nevhodném zacházení nedochází k jejich vznícení. Jsou však citlivé na přebíjení, mají nižší jmenovité napětí (3,3 V) a tudíž i nižší hustotu energie, což je jejich velkou nevýhodou. Velmi často se používají jako přímá náhrada za olovené akumulátory, protože čtyřčlávková sada má při provozu velice podobné napětí jako 12V olovený akumulátor. LiFePO_4 akumulátory mají vysokou životnost, která se v ideálních podmínkách pohybuje v rozmezí 4000 – 8000 cyklů, a jsou tak v současnosti nejvhodnějším řešením akumulace elektřiny z fotovoltaických elektráren. Právě v těchto systémech mohou jednoduše nahrazovat dříve nejhojněji používané akumulátory olovené. Velmi dobré vlastnosti lithiových akumulátorů jsou patrné i z tabulky 4.1 či grafů 4.12 a 4.13. [57, 58, 60, 61]

Tab. 4.1 Porovnání vlastností nejčastěji používaných chemických akumulátorů [57]

Typ akumulátoru	Ni-Cd	Ni-MH	LiFePO4	Pb startovací	Pb staniční	Pb trakční
Reálná hustota energie [Wh/kg]	45–80	60–120	90–120	30–50		
Napětí článku [V]	1,2	1,2	3,3	2,1		
Počet cyklů [–]	1500	300–500	> 2000	400–500	600 +	
Životnost [let]	5 +	3–4	10 +	5 +	10 +	
Doba nabíjení [h]	1–2	2–4	0,5–4	8–16		
Samovybíjení/měsíc [%]	20	30	5–10	20	5	



Obr. 4.12 Specifická hustota energie v závislosti na objemové hustotě energie [8]



Obr. 4.13 Vztah mezi účinností a cyklickou životností jednotlivých typů akumulátorů [8]

Jedním z nejnovějších řešení v oblasti lithiových akumulátorů je i baterie českého chemika Jana Procházky HE3DA (v době psaní BP ve fázi pilotního ověření výroby), která využívá speciální nanomateriály a udávanými přednostmi oproti konvenčním systémům jsou především vysoká bezpečnost, kapacita, spolehlivost a levná výroba. [62]

4.3 Dospupná řešení na trhu

V posledních letech došlo ke značnému poklesu cen domácích úložišť, což zapříčinilo jejich rychlé rozšíření. Využívání obnovitelných zdrojů, především pak střešních solárních elektráren, se s rozvojem těchto úložišť stává pro domácnosti mnohem snazší a dostupnější. Zejména v sousedním Německu je tento rozmach velmi patrný, neboť v současnosti je instalovaných přes 52 000 systémů a podle odhadů by se měl jejich počet v příštím roce zdvojnásobit. [63]

Akumulační zařízení je možné buď sestavit svépomocí z jednotlivých komponent (viz obr. 4.14) nebo je dnes na trhu nabízena celá řada komplexních řešení, ve kterých jsou již všechny potřebné komponenty umožňující chod, regulaci a řízení systému obsaženy. Kromě samotných akumulátorů a BMS (Battery Management System) sloužícího k ochraně akumulátoru mohou obsahovat i měnič stejnosměrného proudu na střídavý, přepětíovou ochranu, či MPPT (Maximum Power Point Tracking) regulátor, který zajišťuje dobíjení úložiště z připojených fotovoltaických panelů. [64] Toto komplexní řešení je použito např. v bateriích Powerwall společnosti Tesla, které obsahují Li-ion akumulátory složené z velkého množství malých článků. [65] Jeden z největších českých výrobců LiFePO4 akumulátorů FitCraft Energy před rokem uvedl na trh produkt SaveBox HOME, jehož součástí je na rozdíl od baterií Powerwall i MPPT regulátor. [66] Z německých výrobců využívajících ve svých systémech lithium-iontové akumulátory můžeme jmenovat Sonnenbatterie patřící k průkopníkům těchto systémů, BMZ, či společnost Solarwatt. Další produkty a jejich parametry včetně finanční náročnosti viz tab. 4.2. [63, 67, 68]



Obr. 4.14 Příklad domácího úložiště energie složeného z jednotlivých komponent [69]



Obr. 4.15 Eleganční řešení domácích úložišť energie [65, 70]

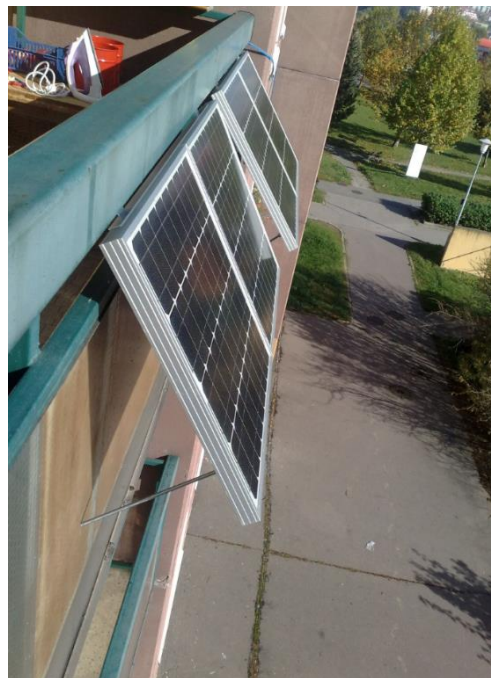
Tab. 4.2 Vybrané produkty pro akumulaci elektrické energie a jejich parametry [64]

	kapacita udávaná (kWh)	využitelná kapacita (kWh)	cena (€, bez DPH)	€/kWh	životnost (cyklů)	záruka	poznámka
Akasol neeoQUBE	4,4	4,4	7150	1625	5000	10 let nebo 5000 cyklů	bez MPPT
FitCraft Energy SaveBox S 3-9-2	9	9	8356	928	4000	2 roky	včetně MPPT, možné úplné vybití, možné nabíjet i z jiných zdrojů
IBC Solar SolStore 6,5 Li	6,5	4,7	7500	1596	5000	7 let plná	bez MPPT
RWE Home Power Storage eco 9.0	9	7	12259	1751	8000	10 let	bez MPPT
Sonnenbatterie eco 8,0	8	8	11300	1413	10000	10 let na baterie	bez MPPT, možné úplné vybití
Tesla Powerwall	7	5,6	4216	753	5000	10 let, možno dokoupit 20	obsah neznámý
Varta Engion Home 5,8	5,8	5,2	7703	1481	14000	7 let plná, 10 let na baterie	bez MPPT

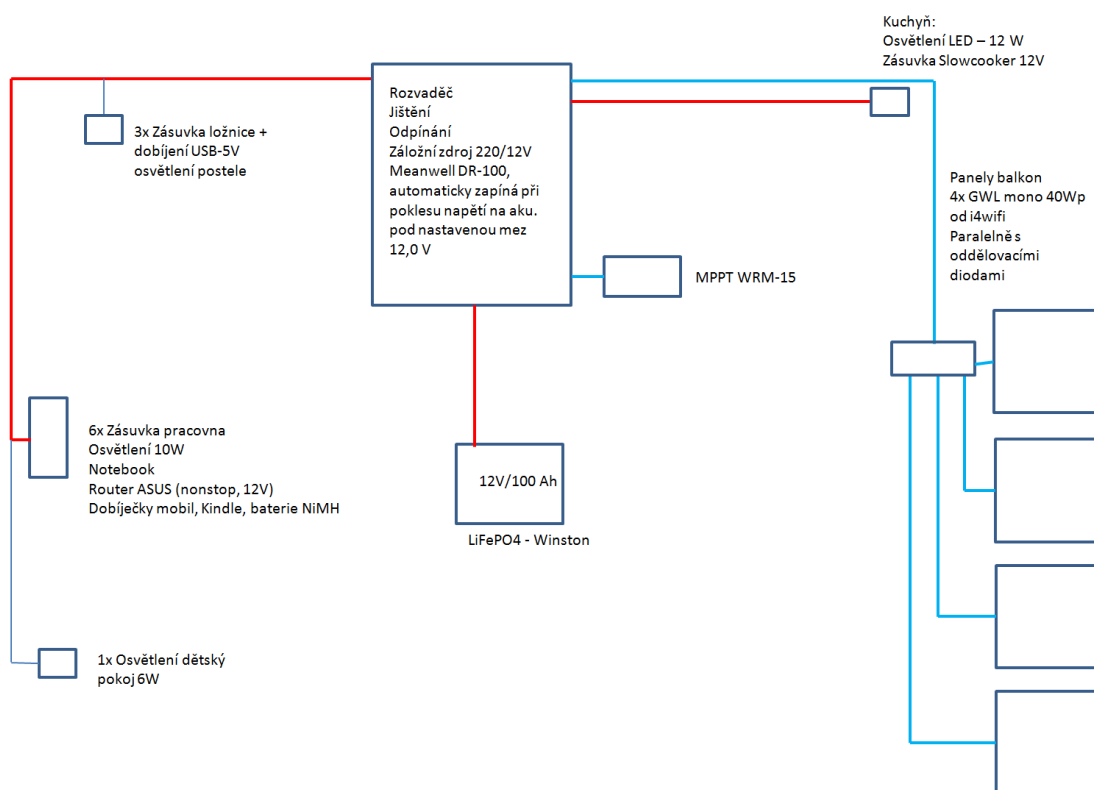
5 ANALÝZA FUNKCE MALÉ OSTROVNÍ ELEKTRÁNY S AKUMULACÍ

5.1 Popis elektrárny

Fotovoltaická ostrovní elektrárna je instalována v Brně ve druhém patře panelového domu s lodžii orientovanou na jih. Panely GWL (4 x 40 Wp) jsou uchyceny na zábradlí lodžie tak, že je možno je naklánět podél vodorovné osy v závislosti na ročním období pro zajištění nejefektivnějších zisků po celý rok. Současná sestava dále obsahuje MPPT regulátor WRM-15, akumulátory LiFePO₄ 12V/100Ah a záložní zdroj 12V/100W. Vzhledem k tomu, že vyrobená energie se využívá především k osvětlení, provozu IT zařízení, notebooku a dobíjení přenosných spotřebičů, není v sestavě zahrnut střídač. Přebytky jsou využívány např. pro pomalé vaření – prototypový pomalý hrnec na 12 V, a pokud pro ně není využití, jsou mařeny pomocí výkonové žárovky H15, 12V/55W. Zařazení žárovky umožňuje sledovat množství přebytků a upřesnit, kolik energie není možné akumulovat. Schéma na obr. 5.2 zobrazuje propojení komponent systému a nízkonapěťový rozvod do jednotlivých míst spotřeby.



Obr. 5.1 FV panely na zábradlí lodžie



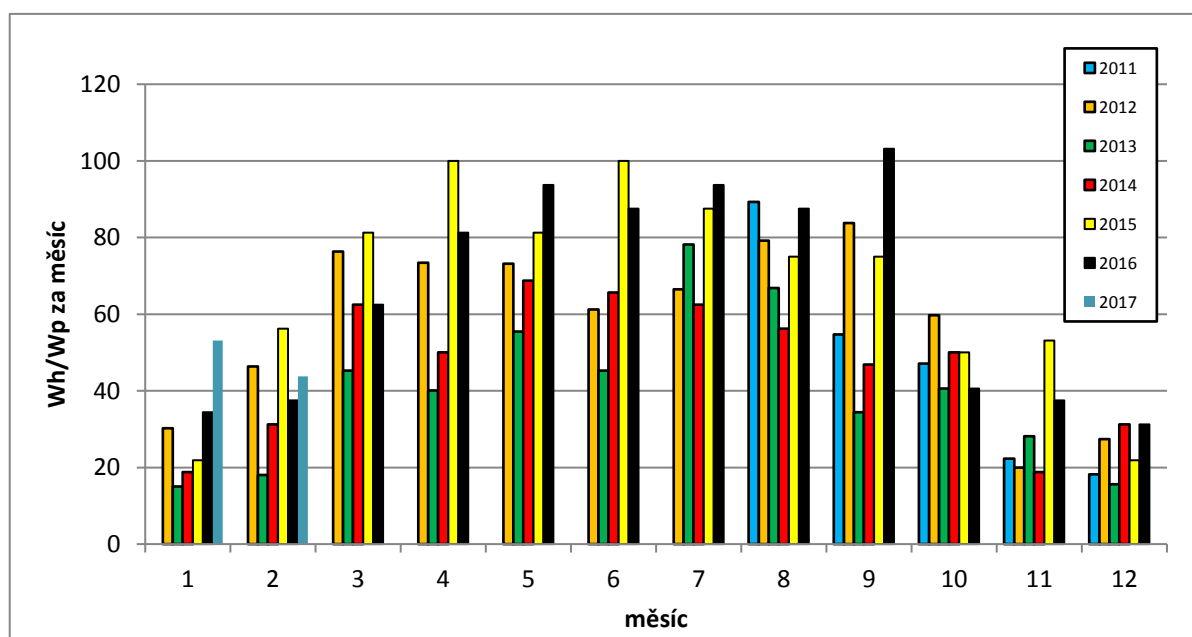
Obr. 5.2 Zjednodušené schéma systému

5.2 Provozní data a jejich analýza

Provozní data fotovoltaické elektrárny byla zaznamenávána od jejího spuštění v srpnu 2011 do února letošního roku. V průběhu let byly jednotlivé komponenty obměňovány (viz tab. 5.1), což mělo měřitelný vliv na výkon elektrárny, jak je patrné i z následujících grafů. Z obr. 5.5 je zřejmé, že největší roli při zvyšování využití vyrobené energie hrála výměna olověných akumulátorů za LiFePO₄ akumulátory a zařazení systému pro měření a zužitkování neakumulovatelných přebytků v srpnu 2014.

Tab. 5.1 Druhy provozů

Starý PWM regulátor + olověný akumulátor + starý panel	srpen 2011 až březen 2013
Starý PWM regulátor + olověný akumulátor + nové panely	duben 2013 až srpen 2013
Nový MPPT regulátor + olověný akumulátor + nové panely	srpen 2013 až srpen 2014
Nový MPPT regulátor + LiFePO ₄ akumulátor + nové panely + využití přebytků	srpen 2014 až do současnosti

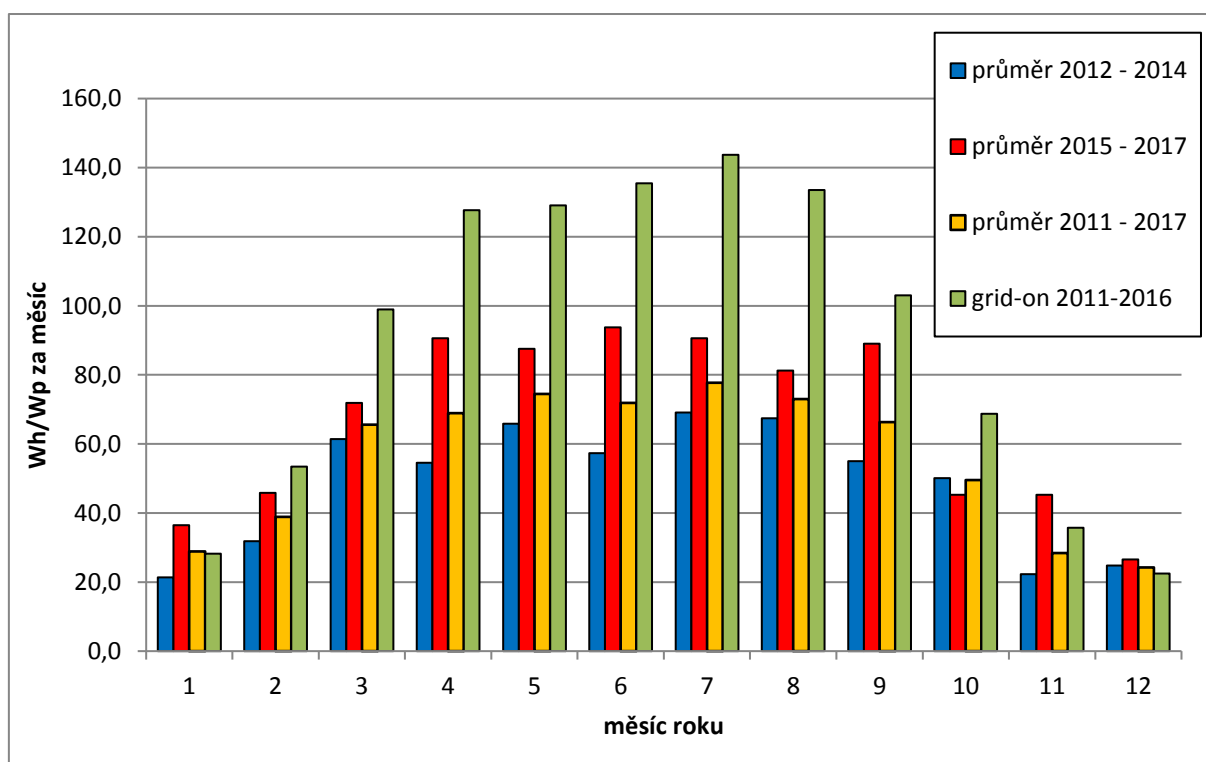


Obr. 5.3 Měsíční výroby demonstrační elektrárny v letech 2011 až 2017 – Wh/Wp

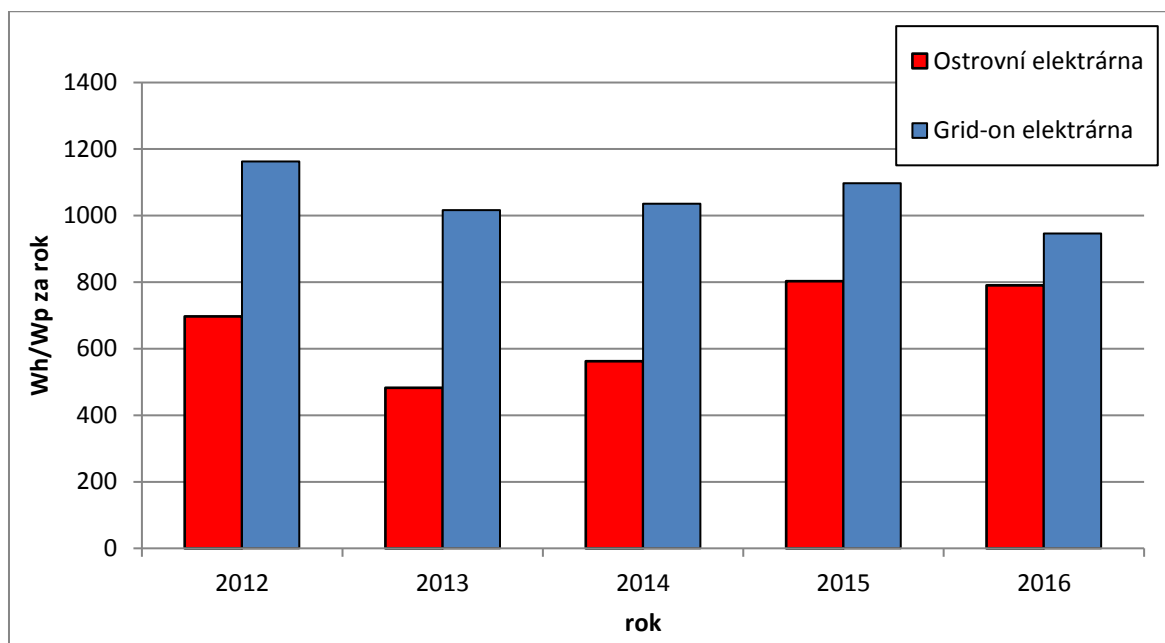
V následujících grafech bude ostrovní fotovoltaická elektrárna porovnávána s „grid-on“ elektrárnou, která vyrobenou energii neakumuluje, ale dodává ji do rozvodné sítě (viz kap. 3.1.2). Tato elektrárna se nachází v Brně-Kníničkách, má celkový výkon 4,6 kWp a panely jsou instalovány na jižní straně střechy rodinného domu, viz obr. 5.4.



Obr. 5.4 Porovnávací „grid-on“ elektrárna v Brně-Kníničkách



Obr. 5.5 Porovnání měsíčních průměrů výrob „grid-on“ a demonstrační ostrovní elektrárny – Wh/Wp



Obr. 5.6 Porovnání ročních výrob ostrovní a „grid-on“ elektrárny – Wh/Wp

5.3 Shrnutí výsledků

Z grafu obr. 5.3 lze vyčíst, že napříč všemi lety provozu množství energie vyrobené ostrovní fotovoltaickou elektrárnou v letních měsících (duben až září) představuje vždy zhruba 2/3 celkové roční výroby. Oproti tomu v zimních měsících (říjen až březen) představuje množství energie jen 1/3 celkové roční výroby. Dále mohou zaujmout různé extrémní výkyvy od průměrných hodnot v jednotlivých měsících, které byly způsobeny velmi slunným a suchým dubnem 2015, listopadem 2015, zářím 2016 a lednem 2017, či naopak podprůměrně zataženým lednem a únorem 2013. Obecně lze říci, že využití vyrobené energie vzrostlo s instalací nových LiFePO_4 akumulátorů, což dokládá graf obr. 5.5 (porovnání modrých „průměr 2012 – 2014“ a červených „průměr 2015 – 2017“ sloupců). Je potřeba také dodat, že ke zlepšení výroby elektrárny hlavně v zimních měsících přispěl i fakt, že v srpnu 2013 byl instalován MPPT regulátor, který má příznivý vliv na výrobu hlavně v případě horších světlených podmínek zimních měsíců.

Porovnávací fotovoltaická „grid-on“ elektrárna je podstatně větší než elektrárna ostrovní a má tedy i značně vyšší výkon. Při převedení výroby na Wh/Wp lze však obě elektrárny objektivně srovnávat (konkrétní data viz tab. 5.2). Z obr. 5.5 vyplývá, že v letních měsících je výroba elektrárny spojené se sítí výrazně vyšší oproti elektrárně ostrovní, za což může především samotné umístění panelů, neboť poloha panelů na střeše je značně výhodnější než upevnění na zábradlí lodžie. Elektrárna „grid-on“ zároveň netrpí žádnými ztrátami spojenými s akumulací energie, jak je tomu u elektrárny ostrovní, jelikož všechnu vyrobenou energii dodává do sítě, a ta se může prakticky považovat za akumulátor o nevyčerpatelné kapacitě. V zimních měsících se naopak výkony elektráren srovnávají, což může být způsobeno možností natáčet panely na zábradlí do výhodnější pozice, a také odpadá limit s nemožností akumulovat v ostrovní elektrárně všechnu vyrobenou energii (nejsou přebytky, které nejde využít, a naopak v prosinci, lednu a únoru dochází relativně často k přepnutí dodávky na záložní síťový zdroj, neboť množství vyrobené energie není dostatečné vzhledem ke spotřebě).

Tab. 5.2 Srovnání výroby ostrovní elektrárny s výrobou „grid-on“ elektrárny

	Grid-on elektrárna	Ostrovní elektrárna			
	2012 – 2016	2012 – 2014		2015 – 2016	
	Průměrná výroba [Wh/Wp]	Průměrná výroba [Wh/Wp]	Ostrovní/ grid-on [%]	Průměrná výroba [Wh/Wp]	Ostrovní/ grid-on [%]
Letní měsíce	772	369	48	533	69
Zimní měsíce	308	212	69	271	88

Z obr. 5.6 je opět názorně vidět navýšení výroby ostrovní elektrárny v posledních dvou letech, způsobené výměnou akumulátorů v kombinaci s MPPT regulátorem. Z porovnání s „grid-on“ elektrárnou, jejíž komponenty nebyly v průběhu let nijak obměňovány, je patrné, že meteorologické podmínky v Brně jsou v daných letech (2012 až 2016) velmi podobné, jelikož její výkon se měnil jen v rozmezí $\pm 10\%$ (běžná meziroční fluktuace způsobená průběhem počasí v daných letech). Za navýšením výkonu ostrovní elektrárny tedy opravdu stojí nové LiFePO_4 akumulátory s vyšší využitelnou kapacitou a lepší účinností ukládání elektrické energie oproti akumulátorům olověným (jak uvádí i obr. 4.13). Množství vyrobené a akumulované energie se zvýšilo cca o 38% z 581 Wh/Wp na 804 Wh/Wp , což je již hodnota, kterou lze považovat za technické optimum dosažitelné vzhledem k umístění a stínění panelů budovou. Porovnávací „grid-on“ elektrárna má tento parametr na úrovni 1080 Wh/Wp .

6 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala možnostmi akumulace energie získané z obnovitelných zdrojů, především pak byla zaměřena na uchovávání elektrické energie v „malém/domácím“ měřítku.

V druhé kapitole byly rozebrány jednotlivé druhy energie, které jsou v domácnostech využívány. Kromě energie tepelné potřebné k vytápění či ohřevu vody je to energie elektrická, jež se vzhledem ke své univerzálnosti a snadné možnosti transformace na jiné druhy energie používá nejvíce. Z následující kapitoly zaměřené na obnovitelné zdroje energie jasně vyplývá, že pro získání elektrické energie z obnovitelných zdrojů v rezidenčním bydlení jsou nejvýhodnější fotovoltaické systémy, které lze na rozdíl od vodních či větrných elektráren snadno instalovat v městské zástavbě. K výrobě tepla se pak nejvíce hodí biomasa či fototermické kolektory, které opět využívají energii Slunce.

Vzhledem k nestálosti dodávky slunečního záření je třeba energii uchovávat, aby byla dostupná i ve chvílích, kdy není intenzita slunečního záření dostatečná. Právě akumulací elektrické energie se zabývala čtvrtá kapitola, ve které byly jednotlivé způsoby stručně popsány. Přečerpávací vodní elektrárny a CAES systémy uchovávají elektrickou energii získanou především v nočních hodinách z tepelných, jaderných a dalších velkých elektráren pro vykrývání energetických špiček v elektrorozvodné síti. Setrvačníky, superkondenzátory či supravodivé indukční akumulátory se vyznačují vysokými výkony a využívají se převážně k překonávání krátkodobých výpadků sítě. Pro domácí použití jsou k uchovávání elektrické energie nejpraktičtější různé druhy chemických akumulátorů, neboť jsou cenově dostupné a rozměrově vyhovují prostorům bytů či domů. Dříve hojně rozšířené olověné a alkalické akumulátory jsou v poslední době nahrazovány akumulátory lithiovými, jejichž životnost, účinnost, hustota energie a další vlastnosti jsou podstatně lepší. Tento fakt je demonstrován též v páté kapitole, která zpracovává provozní data z malé ostrovní fotovoltaické elektrárny s akumulací energie. Z grafů je zřejmé, že po výměně olověných akumulátorů za lithiové výroba elektrárny celkově vzrostla o 38 % v důsledku zvětšení akumulační kapacity, účinnosti ukládání energie, a tím i zvýšení možného časového posunu mezi výrobou a spotřebou elektrické energie.

V současnosti je na trhu nabízena celá řada komplexních řešení systémů, které kromě akumulátorů obsahují i další komponenty potřebné pro chod, regulaci a řízení malých fotovoltaických elektráren s akumulací. Fotovoltaika se tak díky jednoduché instalaci, nenáročnosti provozu a ovládání těchto systémů stává mnohem dostupnější pro širokou veřejnost. Je však nutné podotknout, že ačkoliv byl v posledních letech učiněn v této oblasti značný pokrok, jsou tato technická řešení dosud velmi ekonomicky nákladná a pro většinu zákazníků v ČR zatím jen těžko dostupná.

Obnovitelné zdroje energie budou v souvislosti s trvale udržitelným rozvojem a zmenšováním zásob fosilních paliv stále více využívány, s čímž úzce souvisí i potřeba efektivního ukládání energie. Akumulace energie je tedy velmi aktuální téma, kterým je nezbytné se v dnešní době zabývat. Jedním z důležitých parametrů jsou výrobní náklady akumulátorů, které jsou v současnosti velmi intenzivně řešeny, a to především kvůli potřebě masové výroby akumulátorů pro nastupující elektromobilitu. Cílem je do roku 2020 snížit náklady až pod 100 \$/kWh [71], aby se cena akumulátorů stala přijatelnější pro koncové zákazníky. Prioritou by však zvláště vzhledem k jejich instalaci v domácnostech měla zůstat snaha o zajištění co nejvyšší bezpečnosti, bezporuchovosti a spolehlivosti provozu, a dále pak minimalizace dopadů jejich výroby, užití i následné recyklace na životní prostředí.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DAVID J.C. MACKAY. *Sustainable energy: without the hot air*. Repr. Cambridge: UIT, 2009. ISBN 9781906860011.
- [2] Zatížení. ČEPS [online]. Copyright © 2017 ČEPS, a.s.[cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/CZE/Data/Vsechna-data/Stranky/Zatizeni.aspx>
- [3] Přecherčpávací vodní elektrárny v České republice. *OEnergetice.cz* [online]. Copyright © 2017 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrarny-cr/precerpavaci-vodni-elektrarny-v-ceske-republice/>
- [4] Kancelářské centrum FENIX v Jeseníku, realizované ve standardech roku 2020, už slouží firmě i výzkumu. *TZB-info* [online]. Copyright © 2017 Topinfo s.r.o., všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15271-kancelarske-centrum-fenix-v-jeseniku-realizovane-ve-standardech-roku-2020-uz-slouzi-firme-i-vyzkumu>
- [5] CENEK, Miroslav. *Obnovitelné zdroje energie*. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: FCC Public, 2001. ISBN 80-901985-8-9.
- [6] Elektrina: Víte, kdy spotřebováváme nejvíc? | Nazeleno.cz. *Úspory energie, izolace, zdravý životní styl, biopotraviny, ekologie* | Nazeleno.cz [online]. Copyright © 2015 Nazeleno.cz, všechna práva vyhrazena. Člen skupiny NetBrokers Holding. ISSN 1803 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/elektrina-vite-kdy-spotrebavame-nejvic.aspx>
- [7] Akumulace elektrické energie. *Časopis Elektro - Odborné časopisy* [online]. Copyright © 2017 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42869.pdf>
- [8] Akumulace elektřiny. *TZB-info* [online]. Copyright © 2017 Topinfo s.r.o., všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektriny>
- [9] Energie a my. *Vítejte na Zemi* [online]. Copyright © 2013 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=spolecensko-ekonomicky_pohled&site=energie
- [10] K čemu člověk energii potřebuje. *Vítejte na Zemi* [online]. Copyright © 2013 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=k_cemu_clovek_energii_potrebuje&site=energie
- [11] Encyklopedie energetiky, Energie ze všech stran | Skupina ČEZ [online]. Copyright © 2011, ČEZ, [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/pro-media-2014/05-kveten/encyklopedie_energie-ze-vsech-stran_e.pdf
- [12] Energie v domácnosti aneb jak ušetřit peněženku i životní prostředí [online]. Copyright © [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: [http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/\\$pid/MZPMSFUZVGGA/\\$FILE/energetika.pdf](http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/$pid/MZPMSFUZVGGA/$FILE/energetika.pdf)
- [13] Nová čísla, jak Češi využívají energii. Spotřeba klesla o třetinu, uhlí vystřídal plyn - Aktuálně.cz. *Zprávy - Aktuálně.cz* [online]. Copyright © Economia, a.s. [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/nova-cisla-jak-cesi-vyuzivaji-energii-spotreba-klesla-o-tret-r~a9ed4fc4f9d11e6984a002590604f2e/>

- [14] Zrak. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zrak>
- [15] Visual system. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_system
- [16] Začíná astronomická zima. *Infomet* [online]. [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1324531999>
- [17] Více světla do norem na denní osvětlení. *TZB-info* [online]. Copyright © 2017 Topinfo s.r.o., všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/denni-osvetleni-a-osluneni/8234-vice-svetla-do-norem-na-denni-osvetleni>
- [18] Světlo. *Vítejte na Zemi* [online]. Copyright © 2013 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=svetlo&site=energie>
- [19] Vývojové tendence ve světelných zdrojích a svítidlech. *TZB-info* [online]. Copyright © 2017 Topinfo s.r.o., všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/8343-vyvojove-tendence-ve-svetelných-zdrojích-a-svitidlech>
- [20] Řízení spotřeby nebo akumulace?. *TZB-info* [online]. Copyright © 2017 Topinfo s.r.o., všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: http://www.tzb-info.cz/download.py?file=docu/clanky/0080/008065_Bechnik_RizeniSpotreby.pdf
- [21] Vliv slunečního záření na výkon solárních elektráren v podmínkách České republiky. *Solární Novinky cz* [online]. Copyright © [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: http://www.solarninovinky.cz/index.php?par=rs_4-rl_2010012104-rm_15:91#.WLF1CW_hCpo
- [22] O solární energii a slunečním záření. *Solární energie.info* [online]. [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.solarni-energie.info/informace.php>
- [23] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, 1994. ISBN 80-900759-5-9.
- [24] Ohřev teplé vody fototermickými panely | Solární elektrárny SunnyWatt. *Solární elektrárny SunnyWatt | Energeticky úsporné řešení a energetická soběstačnost* [online]. [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://www.solarnielektrarny.cz/energetika/ohrev-teple-vody-fototermickými-panely>
- [25] Solární (fotovoltaické) články | Skupina ČEZ [online]. [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm#z>
- [26] Stručná historie fotovoltaiky. *TZB-info* [online]. Copyright © 2017 Topinfo s.r.o., všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [27] Fotovoltaika | Skupina ČEZ [online]. [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/kap3.htm>
- [28] Solar cell. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell
- [29] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Solární energie: fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti*. V Praze: ČZU, 2005. ISBN 80-213-1335-8.

- [30] Fotovoltaický jev | Skupina ČEZ [online]. [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm#model>
- [31] Hybridní elektrárny na vzestupu. *TZB-info* [online]. Copyright © 2017 Topinfo s.r.o., všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/119330-hybridni-elektrarny-na-vzestupu>
- [32] Fotovoltaický systém pracující do odporové zátěže | Vývoj.HW.cz. *Vývoj.HW.cz | Vše o elektronice a programování* [online]. Copyright © 1997 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/fotovoltaicky-system-pracujici-do-odporove-zateze.html>
- [33] Biomasa - definice a členění. *TZB-info* [online]. Copyright © 2017 Topinfo s.r.o., všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5641-biomasa-definice-a-cleneni>
- [34] Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. *OEnergetice.cz* [online]. Copyright © 2017 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody/>
- [35] Tepelná čerpadla. *TZB-info* [online]. Copyright © 2017 Topinfo s.r.o., všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla>
- [36] Funkce TČ - Teplotechnika, Tepelná čerpadla. *Tepelná čerpadla - Teplotechnika, s.r.o.* [online]. [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://teplotechnika.cz/funkce-tepelneho-čerpadla>
- [37] Větrná energie. *Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i* [online]. Copyright © [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/web-old/vetrna-energie/doc/vav/priloha02.jpg>
- [38] Jak funguje větrná elektrárna | Obnovitelné zdroje | Skupina ČEZ. [online]. Copyright © 2017, ČEZ, [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/vitr/flash-model-jak-funguje-vetrna-elektrarna.html>
- [39] Větrná energie. *Vítejte na Zemi* [online]. Copyright © 2013 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=vetrna_energie&site=energie
- [40] Malá větrná elektrárna v praxi. Kolik vydělá? | Nazeleno.cz. *Úspory energie, izolace, zdravý životní styl, biopotraviny, ekologie* | *Nazeleno.cz* [online]. Copyright © 2015 Nazeleno.cz, všechna práva vyhrazena. Člen skupiny NetBrokers Holding. ISSN 1803 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/vetrna-energie/mala-vetrna-elektrarna-v-praxi-kolik-vydela.aspx>
- [41] Národní energetický mix. *OTE, a.s.* [online]. [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/statistika/narodni-energeticky-mix/narodni-energeticky-mix>
- [42] Informace o vodní energetice | Obnovitelné zdroje | Skupina ČEZ. [online]. Copyright © 2017, ČEZ, [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/informace-o-vodni-energetice.html>

- [43] Malá vodní elektrárna: Kolik elektřiny vyrobí? Vyplatí se? | Nazeleno.cz. *Úspory energie, izolace, zdravý životní styl, biopotraviny, ekologie* | Nazeleno.cz [online]. Copyright © 2015 Nazeleno.cz, všechna práva vyhrazena. Člen skupiny NetBrokers Holding. ISSN 1803 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/mala-vodni-elektrarna-kolik-elektriny-vyrobi-vyplati-se.aspx>
- [44] Jak funguje vodní elektrárna | Obnovitelné zdroje | Skupina ČEZ. [online]. Copyright © 2017, ČEZ, [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/flash-model-jak-funguje-vodni-elektrarna.html>
- [45] Vodní energie. *Vítejte na Zemi* [online]. Copyright © 2013 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=vodni_energie&site=energie
- [46] Současné možnosti akumulace elektrické energie. *TZB-info* [online]. Copyright © 2017 Topinfo s.r.o., všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: www.tzb-info.cz/download.py?file=docu/clanky/0080/008065_Radil_Baterie.pdf
- [47] Možnosti akumulace elektřiny z širšího pohledu. *TZB-info* [online]. Copyright © 2017 Topinfo s.r.o., všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/12195-moznosti-akumulace-elektriny-z-sirsiho-pohledu>
- [48] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. Praha: Ilsa, 2009. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [49] Ukládání elektřiny z fotovoltaických a větrných elektráren | Nazeleno.cz. *Úspory energie, izolace, zdravý životní styl, biopotraviny, ekologie* | Nazeleno.cz [online]. Copyright © 2015 Nazeleno.cz, všechna práva vyhrazena. Člen skupiny NetBrokers Holding. ISSN 1803 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/ukladani-elektriny-z-fotovoltaickych-a-vetrnych-elektraren.aspx>
- [50] Adiabatická tlakovzdušná akumulární elektrárna. *Časopis Elektro - Odborné časopisy* [online]. Copyright © 2017 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/adiabaticka-tlakovzdusna-akumulacni-elektrarna--9983>
- [51] Underwater Compressed Air Energy Storage: Fantasy or Reality?. *Renewable Energy World* [online]. Copyright © 2017 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.renewableenergyworld.com/articles/2014/09/underwater-compressed-air-storage-fantasy-or-reality.html>
- [52] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003. ISBN 80-86534-03-0.
- [53] Průtoková baterie. *OEnergetice.cz* [online]. Copyright © 2017 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/prutokova-baterie/>
- [54] Vanadové redoxní baterie | Titulek webu. *ChemPoint* [online]. [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/vanadove-redoxni-baterie>

- [55] Vodíkové hospodářství - Česká vodíková technologická platforma. [online]. [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.hytep.cz/cs/vodik/informace-o-vodiku/vodikove-hospodarstvi/654-vodikove-hospodarstvi>
- [56] Palivové články - Česká vodíková technologická platforma. [online]. [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.hytep.cz/cs/clanky/kategorie-clanku/clanky/587-palivove-clanky>
- [57] Náklady na akumulaci elektřiny v sekundárních člancích. *TZB-info* [online]. Copyright © 2017 Topinfo s.r.o., všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/10362-naklady-na-akumulaci-elekriny-v-sekundarnich-clancich>
- [58] Elektrické akumulátory budoucnosti. *Solární Novinky cz* [online]. Copyright © [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: http://www.solarninovinky.cz/?akumulace/2016112901/elektricke-akumulatory-budoucnosti#.WLFHcW_hCcpp
- [59] Současné možnosti akumulace elektrické energie ve fotovoltaických aplikacích [online]. [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://old.roznovskastredni.cz/dwnl/pel2007/11/Krivak.pdf>
- [60] Lithiové akumulátory. *TZB-info* [online]. Copyright © 2017 Topinfo s.r.o., všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/akumulace-elekriny/13612-lithiove-akumulatory>
- [61] Lithium-železo-fosfátové akumulátory - budoucnost domácí výroby a spotřeby elektřiny | Nazeleno.cz. *Úspory energie, izolace, zdravý životní styl, biopotraviny, ekologie* | Nazeleno.cz [online]. Copyright © 2015 Nazeleno.cz, všechna práva vyhrazena. Člen skupiny NetBrokers Holding. ISSN 1803 [cit. 24.05.2017]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/lithium-zelezo-fosfatove-akumulatory-budoucnost-domaci-vyroby-a-spotreby-elekriny.aspx>
- [62] HE3DA spustila výrobu baterií. Bude pohánět i elektromobily Tesla?. *TZB-info* [online]. Copyright © 2017 Topinfo s.r.o., všechna práva vyhrazena. ISSN 1801-4399 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/akumulace-elekriny/15144-he3da-spustila-vyrobu-baterii-bude-pohanet-i-elektromobily-tesla>
- [63] Německo má už přes 52 000 bateriových úložišť pro solární elektrárny | Hybrid.cz. *Hybrid.cz | Elektromobily, elektrokola, elektroskútry, auta na plyn CNG, LPG, testy* [online]. [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nemecko-ma-uz-pres-52-000-bateriovych-ulozist-pro-solarni-elektrarny>
- [64] Akumulace elektřiny – srovnání výrobků – Ekologické bydlení. *Ekologické bydlení – Ekologie, nízkoenergetické bydlení, zelená energie, solární elektrárny* [online]. Copyright © 2017 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.ekobydleni.eu/energie/akumulace-elekriny-srovnani-vyrobk>
- [65] Power Wall - čeká nás revoluce v domácí energetice? | Nazeleno.cz. *Úspory energie, izolace, zdravý životní styl, biopotraviny, ekologie* | Nazeleno.cz [online]. Copyright © 2015 Nazeleno.cz, všechna práva vyhrazena. Člen skupiny NetBrokers Holding. ISSN 1803 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/power-wall-ceka-nas-revoluce-v-domaci-energetice.aspx>
- [66] Tesla bude mít brzy českou konkurenci v bateriích pro domácnosti. Jak bude vypadat a co umí?. *Solární Novinky cz* [online]. Copyright © [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2016012504/tesla-bude-mit-brzy-ceskou-konkurenci-v-bateriich-pro-domacnosti-jak-bude-vypadat-a-co-umi>

[67] Technologie, která nás zaujala - inteligentní baterie pro ostrovní solární systémy | Nazeleno.cz. *Úspory energie, izolace, zdravý životní styl, biopotraviny, ekologie* | Nazeleno.cz [online]. Copyright © 2015 Nazeleno.cz, všechna práva vyhrazena. Člen skupiny NetBrokers Holding. ISSN 1803 [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/aktualne/technologie-ktera-nas-zaujala-inteligentni-baterie-pro-ostrovní-solární-systémy.aspx>

[68] ČEZ nabídne baterie na skladování elektřiny. Bude konkurovat Tesle a nabídne špičkovou technologii od Sonnebatterie. *Solární Novinky cz* [online]. Copyright © [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2015070904/cez-nabidne-baterie-na-skladovani-elektřiny-bude-konkurovat-tesle-a-nabidne-spickovou-technologie-od-sonnebatterie>

[69] Winston solární úložiště bateriový box. *Eskutr.cz* [online]. [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://eskutr.cz/cs/104-autonomni-bateriove-boxy-lifepo4>

[70] Fitcraft Energy – akumulace energie SaveBox HOME pro výrobu a ukládání el.energie z obnovitelných zdrojů. [online]. Copyright © 2016 Fitcraft Energy [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <http://fitcraftenergy.cz/cs/project/savebox-home/>

[71] Tesla Flips the Switch on the Gigafactory - Bloomberg. *Bloomberg.com* [online]. Copyright ©2017 Bloomberg L.P. All Rights Reserved [cit. 21.05.2017]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-01-04/tesla-flips-the-switch-on-the-gigafactory>

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CAES		Compressed Air Energy Storage (akumulace energie založená na stlačeném vzduchu)
FV		fotovoltaika
MVE		malá vodní elektrárna
OZE		obnovitelné zdroje energie
PVE		přečerpávací vodní elektrárna
TČ		tepelné čerpadlo
TUV		teplá užitková voda
E_k	[J]	kinetická energie
J	$[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$	moment setrvačnosti
ω	$[\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}]$	úhlová rychlost